



Actes des 3èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

Philippe Gerardin, Meriem Fournier, Corinne Martin

► To cite this version:

Philippe Gerardin, Meriem Fournier, Corinne Martin. Actes des 3èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois. 3èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Nov 2014, Nancy, France. Volume 3, 2014, Journées Annuelles du GDR 3544 Sciences du Bois, <https://colloque6.inra.fr/journees_gdr3544_bois_2014>. <hal-01295813>

HAL Id: hal-01295813

<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01295813>

Submitted on 1 Apr 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



GDR 3544
Sciences du Bois



Actes des 3^{èmes} journées scientifiques du *GDR* 3544 Sciences du Bois

Thème : Les disciplines en Sciences du Bois



12-14 novembre 2014

Faculté des Sciences et Technologie
Nancy, France

Manifestation : 3^{èmes} journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois,
Nancy, Nov. 2014

Collection : Journées annuelles du GDR 3544 sciences du bois, Volume 3, 2014

Coordination des actes : Philippe Gerardin (LERMaB, Nancy), Meriem Fournier
(AgroParisTech Nancy), Corinne Martin (LERFoB Nancy)

Edition des actes : Charline Freyburger et Nathalie Morel (LERFoB Nancy)

Sommaire



Editorial	4
Partenaires.....	5
Composition des comités.....	6
Programme.....	8
Programme des groupes de travail.....	10
Programme des visites techniques	11
Résumés des conférenciers invités.....	13
Résumés des présentations flash + posters	27
Liste des participants	185

Editorial

Le **Groupe de Recherche en Sciences du bois** (GDR 3544 « Bois ») a été créé en 2012 par le CNRS. La mission du groupement est : (1) de structurer la recherche sur le bois en France pour lui donner une visibilité nationale, (2) de contribuer au développement de la formation en sciences du bois et (3) de servir de relai aux réseaux internationaux de sciences du bois. Afin de répondre à ces objectifs des journées scientifiques sont organisées qui doivent permettre de partager une culture commune, de promouvoir les travaux des laboratoires membres du GDR, d'échanger sur des enjeux transversaux (relations internationales, formation, partage des ressources). Les trois journées sont ouvertes à tous les chercheurs intéressés par les sciences du bois, français comme étrangers; l'objectif étant d'accueillir un maximum de participants des laboratoires partenaires du GDR et de favoriser la participation des jeunes chercheurs (doctorants ou post-doctorants). Dans l'esprit du GDR, nous souhaitons que tous les chercheurs assistent à l'ensemble des journées annuelles car l'objectif n'est surtout pas de cloisonner les thématiques mais bien au contraire de développer une culture commune en espérant stimuler l'interdisciplinarité et les transferts de savoir-faire et d'outils entre thématiques.

Les 3èmes journées scientifiques ont été organisées par les laboratoires LERMaB et LERFoB de Nancy. Les sessions comprenaient (1) des présentations orales, en plénière, par des conférenciers invités autour du thème des « *disciplines dans les sciences du bois* » et (2) des présentations "flash" appuyées par des séances de posters. Les meilleurs posters ont été primés (prix du meilleur poster, du poster le plus original, du poster le plus pédagogique pour un public interdisciplinaire). Des visites techniques ont été aussi proposées permettant notamment de présenter les activités des laboratoires. Des créneaux étaient réservés pour des groupes de travail réunis à l'initiative des participants.

Merci aux personnels des laboratoires qui se sont mobilisés pour accueillir cette manifestation.

Les actes de ces journées rassemblent les résumés des conférenciers invités (exposés) et ceux des contributions volontaires (posters).

Joseph GRIL

Directeur du GDR 3544 Sciences du bois

Site Web du GDR 3544 Sciences du bois : <http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/>



Laboratoires hôtes (lieu - contact)

Lieu : Faculté des Sciences et Technologies, Nancy

LERMaB, Nancy (Philippe Gerardin)

LERFoB Nancy (Meriem Fournier)

Illustration 1^{ère} page

Place Stanislas Nancy vue du Jardin éphémère 2009 - Corinne Martin

Remarque

Version pour les actes des journées annuelles 2014 déposés dans la collection HAL sciences du bois (<https://hal.archives-ouvertes.fr/BOIS/>).

Date d'édition : Mars 2016 - Auteur : Sabine Caré, laboratoire Navier, Champs-sur-Marne -

Partenaires

L'ensemble des partenaires est remercié pour le soutien apporté à cette manifestation.



Composition des comités

Comité d'organisation (coordinatrice : Corinne Martin)

Corinne COURTEHOUX	LERMaB Université de Lorraine
Stéphane DUMARÇAY	LERMaB Université de Lorraine
Meriem FOURNIER	LERFoB AgroParisTech
Emmanuel FREDON	LERMaB Université de Lorraine
Charline FREYBURGER	LERFoB INRA
Virginie FRILEY	LERFoB AgroParisTech
Christine GÉRARDIN	LERMaB Université de Lorraine
Philippe GÉRARDIN	LERMaB Université de Lorraine
Joseph GRIL	LMGC CNRS
Nicolas HOUSSEMENT	LERMaB Université de Lorraine
Aurélie JEANNIN	LERFoB INRA
Corinne MARTIN	LERFoB AgroParisTech
Nathalie MOREL	LERFoB INRA
Laetitia MOURITANY NANTZ	LERMaB Université de Lorraine
Dominique PERRIN	LERMaB Université de Lorraine
Patrick RODRIGUES	LERFoB INRA
Julien RUELLE	LERFoB INRA

Comité scientifique (comité de pilotage scientifique du GDR)

• Christophe Belloncle	ESB Nantes
• Laurent Bléron	ENSTIB Épinal
• Sabine Caré	Navier Champs-sur-Marne
• Bertrand Charrier	IPREM Pau
• Myriam Chaplain	I2M Bordeaux
• Patricia Drevet	PIAF Clermont-Ferrand
• Frédéric Dubois	GEMH Egletons
• Meriem Fournier	LERFoB Nancy
• Philippe Gérardin	LERMaB Nancy
• Stéphane Grelier	LCPO Bordeaux
• Joseph Gril	LMGC Montpellier
• Rémy Marchal	BioWooEB Montpellier
• Emmanuel Maurin	LRMH Champs-sur-Marne
• Patrick Perré	LGPM Châtenay-Malabry
• Frédéric Rouger	FCBA Bordeaux
• Isabelle Théry-Parisot	CEPAM Nice
• Marie-France Thévenon	BioWooEB Montpellier
• Bernard Thibaut	LMGC Montpellier

Programme

Mercredi 12 novembre 2014

- 09h30 - 10h30 Accueil des participants, café de bienvenue
- 10h30 - 12h00 Séance d'ouverture

Présidée par Joseph Gril, LMGc, CNRS, Montpellier

Présentation des activités du GDR

- 12h00 - 13h00 **Session S1: De la chimie du bois aux propriétés des matériaux et produits**
 - 12h00 - 12h30 Conférence Mathieu PÉTRISSANS, LERMaB, UL, Nancy « *Enjeux du traitement thermique du bois : vers un contrôle qualité et un pilotage des fours. La chimie des biopolymères au service du procédé* »
 - 12h30 - 13h00 Conférence Nadine AMUSANT, CIRAD, UMR EcoFoG (Guyane) « *Les extractibles du bois : incontournables pour l'arbre, le bois et pour l'homme...* »
- 13h00 - 14h00 Pause déjeuner
- 14h00 - 14h30 Suite de la session : De la chimie du bois aux propriétés des matériaux et produits
 - Conférence de Marie-Pierre LABORIE, Groupe FOBAWI de l'Université de Freiburg en Breisgau (Allemagne) « *Production of Cellulose Nanocrystals (CNCs) from wood: overview and perspectives* »
- 14h30 - 15h30 Session Flash Talks A
- 15h30 - 16h30 Ag Arbolor et devenir de l'association
- 16h30 - 17h30 Pause-café + Session poster A
- 17h30 - 19h30 Réunions groupes de travail (cf. page 8)
- 20h00 - 23h00 Dîner de gala

Jeudi 13 novembre 2014

- 08h30 - 09h30 **Session S2 : Des propriétés du bois à celles des systèmes constructifs ou objets manufacturés**
 - Conférence Frédéric DUBOIS, Centre Universitaire de Génie Civil, Université de Limoges, Egletons « *Conception Durable en Bois : Du matériau aux Structures* »

- Conférence Iris BRÉMAUD, UMR LMGC, CNRS Montpellier « *Bois d'instruments, ou bois de luthiers ? La place des propriétés matérielles dans un système artisanal et culturel* »
- 09h30 - 10h30 Session Flash Talks B
- 10h30 - 11h30 Pause-café + Session poster B
- 11h30 - 12h30 **Session S3 : De la structure anatomique aux propriétés physiques et biophysique**
 - Conférence Giana PERRÉ, UMR GENIAL, AgroParisTech centre de Massy et Mehdi Ayouz, LGPM, École Centrale Paris « *De l'expérimentation à l'échelle anatomique à la modélisation multiechelle des propriétés physiques du bois* »
 - Conférence Tancrede ALMÉRAS, LMGC, CNRS, Montpellier « *Le bois, muscle des arbres : comment l'assemblage des macromolécules au sein de la paroi cellulaire génère-t-il les contraintes permettant aux arbres de contrôler leur forme et leur orientation ?* »
- 12h30 - 13h30 Pause déjeuner
- 13h30 - 19h30 Visites techniques (cf. page 9)
- 19h30 - 20h30 Réunion COPIL

Vendredi 14 novembre 2014

- 08h30 - 09h30 **Session S4 : Le bois dans l'économie des forêts et l'histoire des usages**
 - Conférence Jean-Luc PEYRON, GIP ECOFOR, Paris « *Une vision économique de l'arbre à la forêt, de la forêt au bois, du bois aux services et des services aux politiques publiques* »
 - Conférence Catherine LAVIER, UMR LAMS, CNRS, Paris 6 « *Le bois dans les reliures d'Europe occidentale, de Charlemagne à Gutenberg* »
- 09h30 - 10h30 Session Flash Talks C
- 10h30 - 11h30 Pause-café + Session poster C
- 11h30 - 13h30 Réunions groupes de travail
- 13h30 - 14h30 Déjeuner
- 14h30 - 15h30 Clôture
 - Présidée par Meriem Fournier, LERFoB, AgroParisTech, Nancy
 - Remise des prix posters
 - Conclusion
 - Clôture des journées
- 15h30 - 16h30 Réunion des représentants des équipes

Programme des groupes de travail

Groupe	Contact	Sujet groupe de travail	Date	Horaire	Salle
GT1	Louis DENAUD	Groupe Usinage bois	12/11	17h30-19h30	ST20
			14/11	12h30-13h30	
GT2	Bertrand CHARRIER	Réunion Xylomat	14/11	12h30-13h30	ST22
GT3	Sabine CARÉ	Bois et imagerie	12/11	17h30-19h30	Amphi 8
	Evelyne TOUSSAINT				
GT4	Rostand MOUTOU PITTI	Rupture du bois	12/11	17h30-19h30	Salle de réunion LERMaB
	Frédéric DUBOIS				
GT5	Bernard THIBAUT	Xylothèques et collections	14/11	11h30-13h30	ST21
GT6	Iris BRÉMAUD	Relations en sciences et artisanat du bois	12/11	17h30-18h30	ST20 bis
GT7	Catherine LAVIER	Artisanat traditionnel et traces du passé	12/11	18h30-19h30	ST20 bis
GT8	Joseph GRIL	Préparation de l'école thématique	14/11	11h30-12h30	ST22
GT9	Anne HOUSSAY	La circulation du bois depuis le 16ème siècle au travers des textes	12/11	18h30-19h30	ST20 bis
GT10	Patrick PERRÉ	Le rôle du bois dans la mutation énergétique mondiale : besoin en recherche	12/11	17h30-19h30	ST21
GT11	Meriem FOURNIER	Mise en commun de ressources à destination des formations bois niveau M	12/11	17h30-19h30	ST22
	Marie-Christine TROUY				

Programme des visites techniques

Visite des installations de recherche du site de la FST à Vandoeuvre et du Musée de l'École de Nancy

- Présentation des thématiques et des équipements des différents laboratoires du domaine Forêt Bois basés à la Faculté des Sciences de Vandoeuvre (LERMaB, EEF, IAM).
- Visite du Musée de l'École de Nancy.
 - La visite des laboratoires débutera à 13h45 devant l'amphi 8 et finira à 15h30.
 - Le trajet de la Faculté des Sciences au Musée de l'École de Nancy se fera par transport en commun (les tickets pour l'aller-retour seront fournis à chaque congressiste inscrit à la sortie), la visite guidée se déroulera de 16h à 17h.

Visite des installations de recherche du site INRA à Champenoux

- Présentation du Centre INRA par le Président, Erwin DREYER, accompagné de Meriem FOURNIER, Directrice de l'UMR LERFoB.
- Visite des équipements du centre hébergés par les plates-formes techniques :
 - Xylosciences, plate-forme technique dédiée à la caractérisation intégrée et multi-échelle de la ressource Forêt-Bois. La présentation sera réalisée par Meriem FOURNIER, Charline FREYBURGER, Maryline HARROUÉ et Julien RUELLE.
 - Installation Expérimentale Croissance (notamment la halle de dendrométrie), qui assure la gestion de placettes forestières permanentes.
 - Plateau Technique d'Écologie Fonctionnelle (PTEF), qui possède trois pôles dédiés à l'observation et à l'analyse d'objets prélevés dans des écosystèmes terrestres ou aquatiques, en conditions naturelles ou contrôlées. La visite concerne uniquement le pôle microscopie, dédié à la réalisation d'observations et analyses minérales d'échantillons de nature variée : végétale, animale, sols. La présentation sera réalisée par Christophe ROSE.
- Visite des placettes permanentes de l'IEC (Installation Expérimentale Croissance) en forêt de Champenoux avec François NINGRE. **(prévoir une tenue et des chaussures adaptées pour la forêt)**
 - Le départ en bus se fera à 13h30 sur le campus de la Faculté. Le retour est prévu pour 17h/17h30 et deux arrêts sont prévus, l'un Place Carnot proche du centre-ville et l'autre sur le campus de la Faculté.

Visite de la papeterie Norske Skog Golbey et des installations de recherche du site de l'ENSTIB à Épinal

- Visite de la papeterie Norske Skog Golbey (NSG) près d'Épinal, dans les Vosges, filiale du groupe papetier norvégien Norske Skogindustrier ASA, leader mondial de l'industrie des papiers de publication. Présentation des activités du site, de la Green Valley et visite des installations.
- Visite des installations de recherche sur le site de l'ENSTIB à Épinal.
 - Le départ en bus se fera à 13h30 sur le campus de la Faculté.

- 14h30 Arrivée, accueil à la papeterie
- 14h45 Présentation en salle par Pierre Clavel, Responsable Développement NSG et Jérémy Boucher, Ingénieur Applications Produits Pavatex
- 15h45 Visite guidée de NSG
- 17h00 Départ pour le site de l'ENSTIB
- Le départ en bus se fera à 18h30 de l'ENSTIB. Le retour est prévu pour 19h30 et deux arrêts sont prévus, l'un Place Carnot proche du centre-ville et l'autre sur le campus de la Faculté.

Résumés des conférenciers invités

Mercredi 12 novembre 2014

S1	<p><i>De la chimie du bois aux propriétés des matériaux et produits</i> Modération : Bertrand Charrier puis Catherine Lavier <u>Mathieu Pétrissans</u> - Enjeux du traitement thermique du bois : vers un contrôle qualité et un pilotage des fours. La chimie des biopolymères au service du procédé <u>Nadine Amusant</u> - Les extractibles du bois : incontournables pour l'arbre, le bois et pour l'homme... <u>Marie-Pierre Laborie</u> - Production of Cellulose Nanocrystals (CNCs) from wood: overview and perspectives</p>
----	---

Jeudi 13 novembre 2014

S2	<p><i>Des propriétés du bois à celles des systèmes constructifs ou objets manufacturés</i> Modération : Myriam Chaplain <u>Frédéric Dubois</u> - Conception durable en Bois : du matériau aux structures <u>Iris Brémaud</u> - Bois d'instruments, ou bois de luthiers ? La place des propriétés matérielles dans un système artisanal et culturel</p>
S3	<p><i>De la structure anatomique aux propriétés physiques et biophysiques</i> Modération : Rémy Marchal <u>Giana Perré & Mehdi Ayouz</u> - De l'expérimentation à l'échelle anatomique à la modélisation multiéchelle des propriétés physiques du bois <u>Tancrède Alméras</u> - Le bois, muscle des arbres: comment l'assemblage des macromolécules au sein de la paroi cellulaire génère-t'il des contraintes permettant aux arbres de contrôler leur forme et leur orientation?</p>

Vendredi 14 novembre 2014

S4	<p><i>Le bois dans l'économie des forêts et l'histoire des usages</i> Modération : Marie-Pierre Laborie <u>Jean-Luc Peyron</u> - Une vision économique de l'arbre à la forêt, de la forêt au bois, du bois aux services et des services aux politiques publiques <u>Catherine Lavier</u> - Le bois dans les reliures d'Europe occidentale, de Charlemagne à Gutenberg</p>
----	---

S1-1

**Enjeux du traitement thermique du bois :
vers un contrôle qualité et un pilotage des fours.
La chimie des biopolymères au service du procédé**

PETRISSANS Mathieu¹

¹LERMAB, Université de Lorraine, Faculté des Sciences,
Boulevard des Aiguillettes, B.P. 70239
54506 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex
mathieu.petrissans@univ-lorraine.fr

Résumé

Depuis la nuit des temps l'homme connaît les pouvoirs d'un traitement du bois par la chaleur. L'Egyptien en enfouissant du bois dans le sable brulant du désert, le paysan en passant au feu l'extrémité de ses pieux, ou le tonnelier en déposant avant cintrage ses douelles au-dessus d'un feu étouffé, utilisaient la thermodégradation des biopolymères du bois pour donner au bois de nouvelles propriétés. On peut ainsi citer : une meilleure stabilité dimensionnelle, une résistance aux attaques fongiques, l'extraction de tanins, en contrepartie une diminution des propriétés mécaniques est observée. En France dans les années 70, 80, des chercheurs développant des travaux sur la concentration du pouvoir calorifique du bois, ont mis au point un procédé dit de torréfaction (Duchez et Guyonnet 1998). Très vite les nouvelles propriétés conférés au matériau prennent le pas sur les aspects énergétique, apparaît alors un nouveau procédé : le bois traité thermiquement. Les années suivantes ont été consacrées, en France mais aussi et surtout dans les pays du nord de l'Europe, au changement d'échelle. Aujourd'hui des unités de production sont livrées clés en main sous différentes marques. Néanmoins, il subsiste un réel frein au développement de cette technique qui ne dispose pas de contrôle qualité du produit ou de dispositif de pilotage. Sur site industriel il faut actuellement cuire « un certain temps » pour obtenir « une certaine qualité ». Cet état de fait génère une insatisfaction auprès des utilisateurs qui sont en recherche d'une forme de certification de la qualité du produit à mettre en œuvre. Depuis une dizaine d'année de nombreux chercheurs tentent de comprendre l'origine des modifications, cherchent à mettre en évidence un paramètre ou un indicateur du niveau de traitement et à développer des outils de pilotage des fours. Le dénominateur commun de ces démarches est la compréhension des chemins réactionnels de la thermo dégradation des bios polymères du bois. Le dégradation des hémicelluloses, la condensation de produits de dégradation sur le réseau polymérique de la lignine et la stabilité thermique de la cellulose, en proportion variable suivant le temps et le niveau de température, sont à l'origine de l'inhibition du métabolisme de dégradation des champignons et de la stabilité dimensionnelle. La perte de masse, la modification des ratios O/C (N Guila *et al.* 2009) et les cinétiques de thermodégradation (Petrissans *et al.* 2011) sont autant d'indicateurs et de paramètres pouvant être retenus pour développer un contrôle qualité et un pilotage des fours (Candelier *et al.* 2015).

Références

Duchez L, Guyonnet R. 1998. Optimisation d'un traitement thermique du bois via un plan fractionnaire. *Analisis Magazine*, 26(8), 39-44.

Nguila Inari G, Pétrissans M, Pétrissans A, Gerardin P. 2009. Elemental composition of wood as a potential marker to evaluate heat treatment intensity. *Polymer Degradation and Stability*, 94, 365-368.

Pétrissans A, Younsi R, Chaouch M, Gérardin P, Pétrissans M. 2011. Experimental and numerical analysis of poplar thermodegradation: weight loss kinetics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 109(2), 907-914.

Candelier K, Hannouz S, Elaieb M, Collet R, Dumarçay S, Pétrissans A, Gérardin P, Pétrissans M. 2015. Utilization of temperature kinetics as a method to predict treatment intensity and corresponding treated wood quality: durability and mechanical properties of thermally modified wood. *Maderas-Cienc Tecnol journal*, 17(2):2015. DOI:10.4067/S0718-221X2015005000024.

Mots-clés : bois, qualité, modification chimique, perte de masse, traitement thermique.

S1-2

Les extractibles du bois : incontournables pour l'arbre, le bois et pour l'homme...

AMUSANT Nadine¹, BEAUCHENE Jacques¹

¹UMR Ecofog – CIRAD BP 701 - 97310 Kourou Cedex 1
nadine.amusant@cirad.fr

Résumé

Les extractibles appelées aussi métabolites secondaires, jouent un rôle primordial aussi bien dans le bois matériau pour l'arbre, le bois matériau pour l'homme en lui rendant des services divers. Synthétisés au cours de la formation du bois de cœur, ils sont impliqués dans les mécanismes de défense de l'arbre assurant ainsi l'intégrité xylème aux agressions biotiques diverses. Mais les extractibles influencent aussi diverses propriétés technologiques du bois que l'on en tire. La compréhension du rôle de ces métabolites au regard de certaines propriétés du bois et la mise en évidence de nouvelles voies de valorisation basées sur des approches bio-inspirées permettent de tendre vers une utilisation plus rationnelle du matériau. Ainsi, bien que les métabolites secondaires ne participent pas directement au développement de l'arbre, nous montrerons que les différentes fonctions qui leur sont associées au regard du matériau bois les rendent incontournables.

S1-3

Production of Cellulose Nanocrystals (CNCs) from wood: overview and perspectives

LABORIE Marie-Pierre¹

¹Chair of Forest Biomaterials, Faculty of Environment and Natural Resources

Werthmanstrasse 6, 79098 Freiburg im Br. Germany

And Freiburg Materials Research Center (FMF)

Stefan Meier Str. 21, 79104 Freiburg im Br., Germany

marie-pierre.laborie@fobawi.uni-freibourg.de

Résumé

In the past two decades, Nanocellulose has raised to the front stage of wood products as a novel high value nanomaterial, which can be produced from wood and other lignocellulosics. Industrial interest in the two forms of nanocellulose, cellulose nanofibrils (CNFs) and cellulose nanocrystals (CNCs) has further amplified in the past few years leading to their commercial availability. On the one hand, the hydrolysis of cellulose into CNCs traditionally relies on the action of concentrated acid for the hydrolysis of cellulose amorphous regions and the liberation of the rod-like nanocrystals. On the other hand, CNFs are traditionally produced through mechanical peeling of cellulose microfibrils.

This presentation will provide an overview of the production methods and characteristics of CNCs. In addition, ongoing research efforts within our group on engineering environmentally-friendly routes with ionic liquids for the production of CNCs from pulp, microcrystalline cellulose and more ambitiously directly from wood will be presented. The challenges and perspectives opened by the use of ionic liquids for the direct production of CNCs from wood will be particularly outlined.

S2-1

Conception Durable en Bois : Du matériau aux Structures

DUBOIS Frédéric¹

¹Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes, Université de Limoges, 19300 Egletons
frederic.dubois@unilim.fr

Introduction

La conception des structures Génie Civil en Bois et leur durabilité dans le temps nécessitent aujourd'hui de prendre en considération les multiples propriétés mécaniques et physiques du matériau bois liées à leur comportement mécanique à long terme, à leur interaction avec l'environnement climatique et à leurs propriétés à la dégradation physique et mécanique (endommagement, fissuration etc.).

Matière biologique, le bois possède des propriétés naturelles issues de sa biodiversité génétique. L'ensemble de cette classification lui donne des propriétés de durabilité naturelle, une orthotropie matérielle, une hétérogénéité mais également un caractère hygroscopique. Une bonne approche de la conception nécessite donc une bonne maîtrise de l'aspect multi-physique du matériau bois. Ainsi, et en accord avec un des objectifs du Groupe De Recherche Sciences du Bois, l'ensemble de la recherche alimentant le Génie Civil bois doit faire référence à une approche transversale allant de la biologie moléculaire et génétique, des approches multi-échelle, des problématiques de transfert de masse et de chaleur à différentes échelles, et ce, jusqu'au comportement mécanique en interaction avec les règles de dimensionnement.

Cette présentation met un focus sur différentes approches en lien avec les activités du département Génie Civil & Durabilité du GEMH et de son axe Durabilité des Structures en Bois.

Durabilité des structures en Bois

La durabilité des structures en bois est largement liée à ses aptitudes à réagir avec son environnement climatique. En effet, qu'on soit confronté à une essence naturellement durable ou non, la problématique du transfert de masse est primordiale afin de maîtriser cette durabilité naturelle ou conférée par traitements additionnels. Le matériau en service étant placé dans son domaine hygroscopique, plusieurs thématiques doivent être abordées afin d'améliorer cette durabilité, par exemple :

- Patrimoine génétique des essences vis-à-vis de leur durabilité naturelle
- Maîtrise du transfert hydrique dans les ouvrages en service
- Maîtrise de l'inspection des ouvrages en service avec un bon monitoring de l'état hydrique
- Maîtriser les traitements de finition (barrières hydriques et fongiques) et leur vieillissement dans le temps

Comportement différé des structures en bois

Le matériau bois, classé dans la famille des polymères, est caractérisé par un comportement différé dépendant du temps et interagissant avec son environnement climatique. A l'échelle matériau, ce comportement peut être défini comme viscoélastique, mécano-sorptif dont le domaine de linéarité dépend de l'intensité des sollicitations. Linéaire pour des sections courantes, le comportement mécanique peut très vite donner des signes de non linéarité au voisinage de singularités que représentent les assemblages, les zones d'appuis et les fissures d'origines naturelles ou non (fentes de séchage, défauts d'usinage, chocs, etc.). Plusieurs thématiques sont donc déclinées :

- Comportement viscoélastique hygro-actif

- Mécano-sorption
- Couplage avec transfert de masse
- Approches non linéaires

Comportement à l'endommagement et à la rupture

Le dernier point abordé concerne le lien entre la mécanique de l'endommagement et de la rupture vis-à-vis de la durabilité des éléments en bois. Le matériau étant naturel et subissant des cycles de séchage et d'humidification, les points singuliers présentés précédemment peuvent être le siège de fissures et d'endommagement. Il est donc primordial de généraliser les outils de mécanique de la rupture ou de l'endommagement, développés plus précisément dans le domaine de la métallurgie, du verre ou des composites, à un matériau orthotrope quasi-fragile et hygroscopique qu'est le bois. Ainsi, plusieurs axes de recherche peuvent être présentés :

- Mécanique de la rupture et évolution dans le temps de la fissuration
- Mécanique de l'endommagement et son évolution dans le temps
- Couplage hydromécanique et risques de fissuration au séchage

L'ensemble de cette présentation se fera à travers plusieurs exemples réels faisant office de fil rouge.

Références

- F. Dubois, M. Méité, O. Pop, J. Absi, Characterization of timber fracture using Digital Image Correlation technique and finite element method, *Engineering Fracture Mechanics*, 96, pp. 107-201, 2012.
- R. Moutou Pitti, F. Dubois, N. Sauvat, E. Fournely, Strain analysis in dried green wood: Experimentation and modelling approaches, *Engineering Fracture Mechanics*, in press, 2013.
- J. Colmars, F. Dubois, J. Gril, One-dimensional discrete formulation of Hygrolock model for wood hygromechanics, *Mechanics of Time Dependent Materials*, 18:1, pp. 309-328, 2014.
- N. Manfoumbi, T.A. Nguyen, N. Angellier, F. Dubois, L. Ulmet, N. Sauvat, Experimental and numerical aspects in diffusion process characterization in tropical species, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 18:9, pp. 963-982, 2014.

S2-2

Bois d'instruments, ou bois de luthiers ? La place des propriétés matérielles dans un système artisanal et culturel

BREMAUD Iris¹

¹Equipe BOIS, LMGC, UMR 5508, CNRS, Université Montpellier 2 cc048,
Pl. E. Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5
iris.bremaud@univ-montp2.fr

Résumé

Les bois, en tant que matières premières constitutives de très nombreux instruments de musique à travers le monde, participent au comportement mécanique et acoustique, mais aussi à l'esthétique visuelle et sonore, soit au final à « l'identité » des instruments finis. Dans les médias ou le grand public, la notion de « bois d'instruments de musique » évoque souvent les instruments à cordes de la musique classique occidentale, et fait parfois appel à un imaginaire à la fois high-tech et romantique. Au contraire, la réalité du travail de facture instrumentale est empreinte de diversité et implique un processus de sélection des bois qui est essentiellement multi-critères, conciliant des contraintes mécaniques/acoustiques, d'aptitude à la mise en œuvre, mais aussi d'autres aspects perceptifs, culturels et de préférences de matériaux. Par ailleurs, à l'heure actuelle le secteur de la facture instrumentale en France, comme en Europe, est majoritairement constitué d'artisans ou de très petites entreprises ciblées sur le haut de gamme. Il en résulte un choix de bois individualisé (par chaque luthier pour chaque instrument) avec une perception fine du matériau, mais aussi une attitude vis-à-vis de la variabilité des bois qui est complètement différente d'une production de type industrielle.

Cette conférence commencera par dresser une typologie des différentes propriétés matérielles impliquées dans la sélection des bois puis dans le fonctionnement des différents types d'instruments. Ces propriétés seront notamment présentées sous l'angle de la variabilité et diversité des bois. La dimension culturelle sera ensuite introduite en comparant les propriétés mécaniques/acoustiques de bois choisis dans différents contextes historiques ou géoculturels, en prenant en compte des aspects de disponibilité de la ressource, mais aussi en mettant en regard les différences entre approches « ingénierie » et « choix artisanaux ». Pour finir, la notion de « qualité » des bois de facture instrumentale sera abordée en tentant de relier critères quantitatifs (propriétés physiques) et qualitatifs, notamment en termes de perception du matériau par ses utilisateurs luthiers/facteurs d'instruments. Cette dernière partie permettra d'étayer la dimension multi-critères de la sélection de bois, tout en illustrant la nécessité d'échanges croisés entre artisans/praticiens et chercheurs/théoriciens pour affiner les protocoles et directions d'analyse scientifique du matériau bois.

S3-1

De l'expérimentation à l'échelle anatomique à la modélisation multiéchelle des propriétés physiques du bois

ALMEIDA PERRE Giana¹, AYOUB Mehdi²

¹UMR GENIAL, AgroParisTech, Centre de Massy

²LGPM, École Centrale, Paris

giana.almeida@agroparistech.fr

Résumé

Les propriétés physiques du bois sont la conséquence des éléments anatomiques dont il est constitué (proportion, agencement,...). Cet exposé s'intéresse à la structure anatomique du bois à l'échelle des tissus.

Dans la première partie de cette conférence seront présentés des caractéristiques de différents plans ligneux et leurs conséquences avec des propriétés physiques du bois.

La deuxième partie sera dédiée au passage des observations anatomiques à la modélisation des propriétés physiques (coefficients de diffusion massique, thermique,..) par des méthodes sans maillage de types Lattice Boltzmann.

S3-2

Le bois, muscle des arbres : comment l'assemblage des macromolécules au sein de la paroi cellulaire génère-t-il les contraintes permettant aux arbres de contrôler leur forme et leur orientation ?

ALMERAS Tancrede¹, CLAIR Bruno^{1,2}, GRIL Joseph¹, FOUNIER Meriem³

¹LMGC, CNRS, Université Montpellier

²Ecofog, UMR CNRS, Kourou

³Lerfob, UMR Agro-Paris-Tech, Nancy

tancrede.almeras@univ-montp2.fr

Résumé

Le bois dans l'arbre est un tissu multifonctionnel qui assure diverses fonctions métaboliques (stockage, défense, réparation...) tout en constituant à la fois un système vasculaire (permettant le transport de sève), un système squelettique (fournissant rigidité et résistance aux tiges) et un système « musculaire » (lui permettant de contrôler sa forme et son orientation). Cette dernière fonction, qui est sans doute la moins connue et la moins étudiée, a une importance fondamentale pour permettre aux arbres de croître en hauteur. En effet, compte tenu de l'élancement des tiges, leur croissance en hauteur dans le champ de pesanteur est un phénomène intrinsèquement instable, qui résulterait invariablement en un port pleureur si un mécanisme actif de contrôle de l'orientation (gravitropisme) n'était pas en place (Moulia et Fournier 2009).

Ce mécanisme est assuré par la différenciation de bois de réaction (bois de tension pour les feuillus, bois de compression pour les résineux) d'un côté de la tige, qui lui permet de changer localement sa courbure, et donc de modifier de façon dynamique sa forme et son orientation. Le mécanisme à l'échelle de la tige est bien compris : les cellules de bois de réaction, lors de leur formation, développent dans leur paroi de fortes contraintes mécaniques (dites contraintes de maturation), et la distribution asymétrique de ces contraintes autour de la tige induit un moment fléchissant qui est à l'origine des variations de courbure (Alméras et Fournier 2009). Cependant, à l'échelle microscopique, les mécanismes restent largement méconnus : qu'est-ce qui, lors de la maturation des parois cellulaires de bois de réaction, génère des contraintes de forte intensité ?

Pour le bois de compression, des modèles existent qui permettent de rendre compte de la relation entre fonction et microstructure des parois cellulaires (Alméras et al. 2005). Mais la question reste ouverte pour les bois de tension à couche G, pour lesquels la relation entre la fonction (se contracter dans la direction de la fibre) et les caractéristiques microstructurales (cellulose abondante, très cristalline et orientée parallèlement à l'axe de la fibre) semblent au premier abord paradoxales. Cette présentation a pour objet de faire le point sur cette question, en confrontant les différentes hypothèses formulées dans la littérature à un ensemble d'observations expérimentales (e.g. Clair et al. 2011) et de considérations mécaniques, puis de proposer un modèle qui semble compatible avec les résultats les plus récents sur la question.

Références

Moulia B, Fournier M (2009) The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view. *Journal of experimental botany*, 60(2), 461-486.

Alméras T, Fournier M (2009) Biomechanical design and long-term stability of trees: morphological and wood traits involved in the balance between weight increase and the gravitropic reaction. *Journal of Theoretical Biology*, 256(3), 370-381.

Alméras T, Gril J, Yamamoto H (2005) Modelling anisotropic maturation strains in wood in relation to fibre boundary conditions, microstructure and maturation kinetics. *Holzforschung*, 59(3), 347-353.

Clair B, Alméras T, Pilate G, Jullien D, Sugiyama J, Riekel C (2010). Maturation stress generation in poplar tension wood studied by synchrotron radiation microdiffraction. *Plant physiology*, 152(3), 1650-1658.

Mots-clés : biomécanique, bois de réaction, bois de tension, contraintes de maturation.

S4-1

Une vision économique de l'arbre à la forêt, de la forêt au bois, du bois aux services et des services aux politiques publiques

Jean-Luc Peyron¹

¹Groupement d'intérêt public Ecofor, 42 rue Scheffer, 75116 Paris

jean-luc.peyron@gip-ecofor.org

Résumé

L'économie forestière s'est constituée en tant que discipline scientifique autour de l'âge auquel exploiter les arbres. La question s'est posée à une époque de grande pénurie de bois (18^e siècle) et donc sur des considérations d'utilité sociale. La réponse s'est appuyée sur une observation attentive de la croissance des peuplements, plus particulièrement de l'évolution conjuguée des accroissements courant et moyen en volume, masse ou surface terrière pour rechercher la plus grande production physique susceptible de répondre à la pénurie.

Du point de vue du propriétaire, il convient de prendre aussi en compte le prix des bois qui varie avec la dimension des arbres et les débouchés potentiels. Peu d'analyses portent cependant sur ce point comparativement à la croissance.

La recherche du meilleur âge d'exploitation pour le propriétaire suggère également de prendre en compte les coûts et autres revenus de la gestion forestière, y compris le coût du temps sous la forme d'un taux d'intérêt ou d'actualisation. Ces éléments permettent de déterminer la valeur de la valeur et, par déduction, la gestion susceptible de maximiser cette valeur. L'optimum ainsi obtenu constitue une référence par rapport à laquelle se mesure le préjudice consécutif à un événement fortuit ou le manque à gagner que représente une contrainte que le propriétaire subirait, voire s'imposerait.

Cette théorie supporte l'introduction du risque et notamment la probabilité de catastrophe liée aux incendies, tempêtes et autres événements extrêmes.

Revenant à des préoccupations d'utilité sociale, elle est également amenée à intégrer des avantages largement non marchands qui représentent souvent aujourd'hui des enjeux croissants. L'atténuation du changement climatique en est un exemple. Pour être prise en compte dans ses dimensions de séquestration et stockage, d'une part, émissions réelles et évitées, d'autre part, elle nécessite une considération globale de la filière forêt-bois, en comparaison avec des secteurs alternatifs, dans le cadre d'une analyse de cycle de vie.

Le passage de l'échelle du peuplement à la forêt consiste à prendre en compte des contraintes sur l'ensemble de la propriété ou de l'unité de gestion pour en gérer chacun des peuplements. Le passage de l'échelle du peuplement à l'économie nationale peut également conduire à des arbitrages prenant en compte des préoccupations nationales et de politiques publiques : cette éventualité apparaît par exemple, à l'instar de la pénurie de bois du 18^e siècle, dans la chute de production du massif landais après deux tempêtes consécutives ou dans la recherche d'une plus grande efficacité dans la lutte contre l'effet de serre.

Finalement, le traitement de bon nombre des questions qui se posent aujourd'hui en matière de gestion forestière requièrent d'insérer chaque arbre ou peuplement dans un contexte large et intégré et de mettre en place les institutions capables de régler les différences d'appréciation et d'enjeu apparaissant entre ces différentes échelles d'approche.

S4-2

Le bois dans les reliures d'Europe occidentale, de Charlemagne à Gutenberg

LAVIER Catherine¹

¹Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale (LAMS) UMR8220
CNRS et UPMC-Paris6
catherine.lavier@upmc.fr

Résumé

Le bois offre une palette extrêmement large d'emplois depuis des millénaires : en Europe occidentale, si cela paraît évident pour l'habitat, le transport ou le mobilier intérieur, on sait moins qu'il fut un support de l'écrit puis son « berceau » pendant les périodes médiévales. Manuscrit, incunable et imprimé, sa reliure, n'avait jamais fait l'objet d'études scientifiques. L'opportunité est venue de l'inventaire des bibliothèques municipales de France initié par le ministère de la culture et de la communication. Depuis les années 90, en plus du seul catalogage des ouvrages prévu à cette époque, ont été associés divers professionnels aussi bien « classiques » comme le paléographe ou le codicologue que le restaurateur de reliure ou des spécialistes étudiant les encres, les papiers, les cuirs et ... les ais.

Le but premier était de dater ce bois afin de replacer chronologiquement l'apparition et la disparition des reliures à ais. Il fallait également vérifier l'authenticité de l'ouvrage mais bien vite, la complexité de l'histoire liée à chaque livre a poussé le spécialiste du bois à s'intéresser à la restitution de l'arbre, son origine biogéographique, sa mise en œuvre et ses usages, ses réparations ou ses nombreux remplois. Cela nécessita le développement d'approches novatrices regroupées aujourd'hui sous le terme d'archéodendrométrie et basées sur les seules mesures de cernes, de débits et de traces.

Les ais de quelques 3 000 ouvrages ont ainsi été étudiés sur les 33 000 que comptent nos plus de 4000 bibliothèques françaises. Malgré ce faible pourcentage, les résultats furent surprenants et parfois en contradiction avec les textes sur l'emploi du bois. Ils dévoilèrent surtout un artisanat maîtrisé d'un savoir-faire aussi bien religieux que profane alors que les restaurations sub-récentes ont négligées le bois par sa suppression ou son remplacement par des essences et des débits inadaptés. Les datations s'étalent du VIII^e au XVI^e siècle avec un emploi exclusif du chêne rapidement remplacé par le hêtre au cours de la seconde partie du XV^e siècle. Si les réalisations sont locales et limitées à des productions manuelles, les provenances sont variées. Elles témoignent d'un vaste réseau d'échanges sur l'Europe, mais aussi de diffusion de la connaissance, surtout religieuse. Réservées essentiellement aux élites de la chrétienté et de la politique, les laïcs finissent par se l'approprier, provoquant ainsi des changements techniques de fabrication qui aboutiront au livre cartonné massivement produit de façon industrielle. Des développements et des perspectives seront évoqués pour traiter ces innombrables données et consolider les résultats quantitatifs et qualitatifs.

Références

LAVIER C (2008) Le bois dans l'histoire des techniques du livre médiéval : intentionnalité et savoir-faire. Premières restitutions. In Lanoë G (Dir.), La reliure médiévale. Pour une description normalisée, Brépols Ed. Collection: Reliures médiévales des bibliothèques de France, pp. 255-265.

LAVIER C (2013) Archéodendrométrie sur objets et oeuvres d'art à support-bois : savoir-faire technique, capacités, obstacles et alternatives, Spectra ANALYSE n° 292, pp. 67-73.

Mots-clés : Europe, Moyen Age, Reliure, Bois, Archéodendrométrie.

Résumés des présentations flash + posters

Les résumés des posters sont classés selon l'ordre de passage dans les sessions de flash-talks.

Posters primés

Prix du meilleur poster (qualité scientifique sur le fond, pertinence du sujet et qualité sur la forme) :

- Poster A06 - **Lydie DUSSOL**, ArchAm Nanterre : *A la recherche des pins perdus. Exploitation et usages du bois de pin par les Mayas des Basses Terres à la période classique : l'exemple du site de Naachtun (Petén, Guatemala)*
- Poster B26 - **Estelle NOYER**, LERFoB Nancy : *Vieilles perches de hêtre après éclaircies : évolution des indicateurs biomécaniques*
- Poster C20 - **Alexandre PONOMARENKO**, PIAF Clermont-Ferrand : *Événements acoustiques liés au gel de l'eau dans le bois*

Prix du poster le plus original (posters « coup de cœur » pour un ou plusieurs critères, incluant l'accroche du flashtalk) :

- Poster A19 - **Julie MORIN-RIVA T**, BIOSE Tervuren (Belgique) : *Analyse à haute résolution spatiale et temporelle des activités humains à l'Holocène récent dans les forêts humides d'Afrique Centrale*
- Poster B20 - **Yasmine TRAORE**, LEMC Ouagadougou (Burkina Faso) : *Influence du traitement des coques de noix de palme sur les propriétés physico-mécaniques des bétons légers*
- Poster C26 - **Renaud PFEIFFER**, Labomap Cluny : *Comportement mécanique dynamique du bois vert en compression*

Prix du poster le plus pédagogique pour un public interdisciplinaire :

- Poster A25 - **Rached ISMAIL**, Secalim Nantes : *Méthodes d'extraction des micro-organismes à partir de surfaces d'emballages en bois, utilisées dans les industries agro-alimentaires*
- Poster B19 - **Andrès ARCINIEGAS**, Biowood Marseille : *Analyse de méthodes statistiques en traitement du signal pour les tomographies acoustiques et ultrasonores des arbres sur pied*
- Poster C05 - **Octavian POP**, GEMH Limoges : *Effet du patrimoine génétique du Douglas vis-à-vis de son comportement hygroscopique*

Session A

no	titre	auteurs
A01	Durabilité de bois de chêne archéologique. Etude de pieux de soutènement de digue de Somme	BESSERER Arnaud, LETELLIER Maxime, FREDON Emmanuel, ANTOINE Marie-Laure, PERRIN Christelle, LALLEMAND Julien, TROUY Marie-Christine
A 02	Evaluation de la durabilité de pieux de fondation en bois	KLEINDIENST Quentin, BLERON Laurent, TROUY Marie-Christine, BESSERER Arnaud, BOCQUET Jean-François
A 03	Optimisation de l'aboutage par entures multiples	TRAN Van-Dang, OUDJENE Marc, MEAUSOONE Pierre-Jean
A 04	Modélisation, simulation, et application de méthodes originales de production industrielle pour la construction bois	MOUSSAVI Esmaeil, BOUALI Anis, MÉAUSOONE Pierre-Jean
A 05	Procédés de séchage du bois adaptés à l'utilisation d'énergies intermittentes	SALEM Thouraya, BOUALI Anis, PERRÉ Patrick, MOUGEL Eric, REMOND Romain
A 06	À la recherche des pins perdus. Exploitation et usages du bois de pin par les Mayas des Basses Terres à la période classique : l'exemple du site de Naachtun (Petén, Guatemala)	DUSSOL Lydie
A 07	Photogrammétrie, SIG et modélisation 3D: la réalité virtuelle au service de l'analyse des modes de construction des maisons en bois de l'Arctique nord-américain (XVe-XVIe s.)	MÉREUZE Rémi, ALIX Claire
A 08	Caractérisation de la rigidité des assemblages d'éléments de meuble par la simulation numérique	MAKHLOUF Heba, CHEVALIER Luc, FAVIER Elie, ROUX Marie-Lise, LAUNAY Eric
A 09	Lutter contre le changement climatique : Quelle sylviculture du pin maritime en Aquitaine pour quels usages ? Essai méthodologique	CAILLY Priscilla
A 10	La dureté Persoz : une nouvelle voie d'étude pour évaluer les performances des revêtements sur bois en extérieur ?	MALASSENET Lise, PODGORSKI Laurence, GEORGE Béatrice, MERLIN André
A 11	Integration of rapid variation of moisture content in a cohesive zone model: study of crack propagation in wood (Intégration des variations rapides de teneurs en eau du bois dans un modèle de zone cohésive : étude de la propagation de fissure)	PHAN Ngoc Anh, MOREL Stéphane, CHAPLAIN Myriam
A 12	Behaviour analysis of conventional timber frame wall under seismic action	VERDRET Yassine, FAYE Carole, ELACHACHI Sidi Mohammed
A 13	Une modélisation de la résistance en flexion du Pin Maritime utilisé dans la construction.	GRAZIDE Cécile, COUREAU Jean-Luc, COINTE Alain, MOREL Stéphane
A 14	Optimisation du procédé de fabrication de matériaux isolants à base de fibres de bois	LAPALU Jérémy, VIGNON Pierre, DELISEE Christine, MOREAU Jérôme
A 15	Propriétés mécaniques des racines de structure de Pinus pinaster	DEFOSSEZ Pauline, COINTE Alain, COUREAU Jean-Luc, MOREL Stéphane, BONNEFOND Jean-Marc, GARRIGOU Didier, LAMBROT Cathy, DANJON Frédéric
A 16	Auscultation non destructive des structures du génie civil en bois - Mesure de l'humidité dans les ouvrages d'art en bois	LI Hang, PERRIN Marianne, EYMA Florent
A 17	Influence de l'essence sur l'état de surface du bois usiné et sur son aptitude à la finition	RAMANAKOTO Miora F., RAJEMISON Andraina H., EYMA Florent, RAMANANANTOANDRO Tahiana
A 18	Meilleure connaissance des propriétés des bois malgaches pour une valorisation durable des essences autochtones	RAJONSHON Hanitra, GERARD Jean, GUIBAL Daniel, RAMANANANTOANDRO Tahiana

A 19	Analyse à haute résolution spatiale et temporelle des activités humaines à l'Holocène récent dans les forêts humides d'Afrique Centrale	MORIN-RIVAT Julie, Anaïs-Pasiphaé Gorel, Achille Biwolé, Jean-François Gillet, Nils Bourland, Adeline Fayolle, Kasso Daïnou, Jason Vleminckx, Olivier Hardy, Hans Beeckman, Jean-Louis Doucet
A 20	Influence de la vitesse de croissance et de la nature du bois sur les propriétés mécaniques structurales de sciages de Douglas wallon (Belgique)	HENIN Jean-Marc, HEBERT Jacques, JOUREZ Benoit
A 21	Influence de la vitesse de croissance sur le classement en lames de bardage de Douglas wallon (Belgique)	POLLET Caroline, HENIN Jean-Marc, HEBERT Jacques, JOUREZ Benoit
A 22	A la découverte de l'anatomie du bois dans le laboratoire de l'Ecole Supérieure du Bois (ESB) à Nantes	CORBINEAU Paul, MACCHIONI Nicola, MICHAUD Franck, SAEDLOU Nima, <u>RAMANANTOANDRO Tahiana</u>
A 23	Produits à base de bois en fin de vie : une ressource pour l'industrie chimique	COURET Laetitia, BELLONCLE Christophe, IRLE Mark, CATHALA Bernard
A 24	Sécurité alimentaire : Etude de la migration des composés organiques émis par le Peuplier lors d'un contact avec un aliment	LUDOSKY Daliéna, FRICOTEAUX Florence, IRLE Mark, COPINET Alain
A 25	Méthodes d'extraction des micro-organismes à partir de surfaces d'emballages en bois, utilisées dans les industries agro-alimentaires	ISMAÏL Rached, LE BAYON, MICHEL, JEQUEL, AVIAT, KUTNIK, FEDERIGHI
A 26	Wood Comfort : Analyse du bien-être généré par le bois utilisé dans l'ameublement et la construction	ZANETTI Michela, DEMATTÉ M. Luisa-, ZUCCO Gesualdo, RONCATO Sergio, DERUTO Viviana, FONGARO Giovanna, CAVALLI Raffaele
A 27	Caractérisation des bois utilisés dans la fabrication de quatre xylophones africains à résonateurs	WARNEKE Nikolaus, <u>HOUSSAY Anne</u> , Julie Morin-Rivat, Saskia Villaert

Session B

no	Titre	Auteurs
B 01	Effet des cernes d'accroissements sur la thermo-dégradation du bois	SADERI Seyedehmasomeh, Meriem Fournier, Cyrille Rathgeber
B 02	Elaboration de bois composite à partir de hêtre par polymérisation in situ de monomères issus de déchets de bois	IMBERT Aurélie, FREDON Emmanuel, DUMARÇAY Stéphane, BESSERER Arnaud, CHAPUIS Hubert, GERARDIN Philippe et GERARDIN Christine
B 03	Extraction, purification et caractérisation de produits naturels issus de co-produits de l'industrie papetière	MORAUX Thomas, DUMARÇAY Stéphane, GERARDIN Christine, GERARDIN Philippe
B 04	Gélifiants amphiphiles anti-oxydants dérivés d'extraits de bois	ORLANDINI Sébastien, <u>CHAPUIS Hubert</u> , HECKER Arnaud, GERARDIN Christine
B 05	Nouveaux traitements de préservation du bois associant bore, méthacrylate de poly glycérol et traitement thermique	SALMAN Solafa, PETRISSANS Anélie, THEVENON Marie France, DUMARÇAY Stéphane, GERARDIN Philippe
B 06	Transfert de l'eau dans le feuillu au-dessus du PSF : cas du bouleau	BONNET Marie, JOHANSSON Jimmy
B 07	Modélisation des panneaux en bois lamellé croisé en flexion: vers un modèle de couche équivalente pour le bois?	FRANZONI Lorenzo-, LEBEE Arthur, FORET Gilles, LYON Florent
B 08	Instabilités de voilement des panneaux en lamellé croisé	PERRET Olivier, DOUTHE Cyril, LEBEE Arthur, SAB Karam

B 09	β -Galactosidases: un rôle dans les couches G du bois de tension ?	ŠECEROVIC Amra, GUEDES Fernanda, LESAGE-DESCAUSES Marie-Claude, MILLET Nadège, LAINE-PRADE Véronique, <u>LAURANS Françoise</u> , LEPLE Jean-Charles, DEJARDIN Annabelle, PILATE Gilles
B 10	Caractérisation mécanique de la paroi cellulaire du bois de tension en cours de maturation par microscopie à force atomique	CAPRON Marie, RAMONDA Michel, LAURANS Françoise, ARNOULD Olivier
B 11	De l'atelier au laboratoire : des échanges entre artisans et scientifiques mutuellement bénéfiques	CABROLIER Pierre & BREMAUD Iris
B 12	Caractérisation visuelle, structurelle et acoustique de l'épicéa et de l'érable de lutherie : détermination des figures de l'érable et des paramètres de cernes de l'épicéa	CARLIER Capucine, BREMAUD Iris, MATSUO Miyuki, NAKAMURA Masashi, GRIL Joseph
B 13	Etude expérimentale et numérique du comportement hygromécanique d'un panneau de bois. Application à la conservation des tableaux peints sur bois du patrimoine	GAUVIN Cécilia, JULLIEN Delphine, Jean-Christophe DUPRE, Pascal DOUMALIN, Eiichi OBATAYA, GRIL Joseph
B 14	Management de la qualité & Recherche : Brimade ou cercle vertueux ?	THEVENON Marie-France, <u>PIGNOLET Luc</u> , CANDELIER Kevin, ARVANITAKIS Laurence, GUYOT Albant, GALLET Philippe, MARTIN Luc
B 15	Moyens de contrôle et/ou de prédiction de qualité des bois modifiés thermiquement	CANDELIER Kevin, S. Hannouz, M. Elaieb, R. Collet, S. Dumarçay, A. Pétrissans, P. Gérardin, M. Pétrissans
B 16	New preservative glue line based on tannin auto condensation	EFHAMISISI Davood, Marie-France Thevenon, Anotnio Pizzi, Yahya Hamzeh, Ali Karimi, Kambiz Pourtahmasi
B 17	Fire properties of tannin-boron treated wood with montmorillonite	HU Jinbo, Marie-France Thevenon, Gianluca Tondi
B 18	Comportement de bois d'Eucalyptus au cisaillement par méthode ultrasonore	REIS DE ASSIS Maira, BRANCHERIAU Loïc, NAPOLI Alfredo, TRUGILHO Paulo Fernando
B 19	Analyse de méthodes statistiques en traitement du signal pour les tomographies acoustique et ultrasonore des arbres sur pied	ARCINIEGAS Andrés, BRANCHERIAU Loïc, LASAYGUES Philippe
B 20	Influence du traitement des coques de noix de palme sur les propriétés physico-mécaniques des bétons légers	TRAORE Yasmine, Adamah MESSAN, François TSOBNANG, Jean GERARD
B 21	Essais de délamination sur des composites massifs de type carrelats trois plis fabriqués à partir de bois algérien	DERBAL Wassila, ZERIZER Abdellatif, GERARD Jean, GUIBAL Daniel
B 22	Détermination des paramètres acoustiques des matériaux bio sourcés pour un usage en bâtiments. Cas d'application : bois de Pin d'Alep et liège algérien	LIMAM Amel, BAILHACHE Simon, QUENARD Daniel, ZERIZER Abdellatif
B 23	Influence du toucher sur la vision dans la perception des états de surface du bois usiné destiné à l'ameublement par les consommateurs malgaches : détermination de seuils d'acceptabilité	ANDRIANANTENAINA Anjy N., RAMANAKOTO Miora F., EYMA Florent, RAMANANANTOANDRO Tahiana
B 24	Variation de l'infradensité dans l'arbre chez trois post-pionnières tropicales	MOREL Hélène, BEAUCHENE Jacques, NICOLINI Eric-André
B 25	Conception d'un dispositif à rayons X de Microdentitométrie Directionnelle	JACQUIN Philippe, LONGUETAUD Fleur, MOTHE Frédéric
B 26	Vieilles perches de hêtre après éclaircie : évolution des indicateurs biomécaniques	NOYER Estelle, Jana Dlouha

B 27	Extractibles nodaux des essences forestières tempérées	TOUAHRI Nassim, COLIN Francis, KEBBI-BENKEDER Zineb-, DUMARCAY Stéphane, GERARDIN Philippe
------	--	--

Session C

no	Titre	Auteurs
C 01	ANR JCJC2013 – Projet CLIMBOIS : Essais de fissuration du bois en fluage sous environnement variable	ANGELLIER Nicolas, MOUTOU PITT Rostand, DUBOIS Frédéric, RIAHI Hassen, GARMY Joël
C 02	Transferts hygroscopiques dans le bois : Approche par technique résistive multiplexée et inversion numérique	NGUYEN Tuan Anh, ANGELLIER Nicolas, ULMET Laurent, CARE Sabine, DUBOIS Frédéric
C 03	Modélisation éléments finis du comportement des panneaux peints soumis à un test de vieillissement accéléré	DUBOIS Frédéric, JAMAAOUI Amine, PODGORSKI Laurence, LAMBERT Marion, ROUGER Frédéric
C 04	Etude multi-échelle des transferts hygrothermiques dans le béton de bois	MEDJELEKH Dalel, ULMET Laurent, DUBOIS Frédéric
C 05	Effet du Patrimoine génétique du Douglas vis-à-vis de son comportement hygroscopique	JAMAAOUI Amine, POP Octavian, COSTA Guy, DUBOIS Frédéric, GLOAGUEN Vincent
C 06	Construction Bois Pôle Egletons. Un nouveau centre de formation par la pratique et par l'exemple	SAUVAT Nicolas
C 07	La formation du duramen chez le douglas	PLAZANET Idelette, BOIZOT Nathalie, LABEL Philippe, BRETON Christian, GLOAGUEN Vincent, COSTA Guy
C 08	Modifications de la composition pariétale du bois et des écorces chez des résineux (Douglas et Mélèze) exposés à une pollution au Cadmium	FAUGERON Céline, Cédric ASTIER, Amandine BONET, Gaëlle SALADIN, Vincent GLOAGUEN
C 09	Réticulation de fibres lignocellulosiques et d'amidon. Vers de nouveaux matériaux pour l'industrie papetière	ELCHINGER Pierre-Henri, LEPETIT Amaury, MONTPLAISIR Daniel, ZERROUKI Chouki, ZERROUKI Rachida
C 10	Elaboration de matériaux bioactifs à partir de fibres lignocellulosiques	NZAMBE TA KEKI Jean Kerimi, Tan-Sothéa Ouk, Rachida Zerrouki, Pierre-Antoine Faugeras, Vincent Sol, François Brouillette
C 11	Les liquides ioniques appliqués à la dissolution du bois	PLAZANET Idelette, BOENS Benjamin, MONTPLAISIR Daniel, ZERROUKI Rachida, COSTA Guy
C 13	Etude du bois sous sollicitations hydriques à l'échelle du cerne de croissance par la méthode de la grille	DANG D., MOUTOU PITT R., TOUSSAINT E., GREDIAC M.,
C 14	Mesures de champs sur une poutre entaillée par la méthode de la grille	FOURNELY Eric, TOUSSAINT Evelyne, MOUTOU PITT Rostand, GREDIAC Michel,
C 15	Sur une méthode d'identification des caractéristiques mécaniques du matériau bois	NOUALI Azeddine, MOUTOU PITT Rostand, DELAUNEY Thomas, RIAHI Hassen, FOURNELY Eric, LE CLEZION Emmanuel
C 16	Fissuration des rondelles de Sapin blanc du Massif Central suite au séchage naturel	NOUALI Azeddine, MOUTOU PITT Rostand, FOURNELY Eric, RIAHI Hassen,
C 17	PROJET ANR JCJC CLIMBOIS : Modélisation de la rupture en mode mixte dans le bois : prise en compte de la viscoélasticité et de la température	RIAH H., MOUTOU PITT R., DUBOIS F., ANGELLIER N., SAIFOUNI O., FOURNELY E.
C 18	Comportement hydromécanique du sapin blanc du Massif Central	NGUYEN Sung-Lam, SAIFOUNI Omar, DESTREBECQ Jean-François

C 19	Conception dimensionnement et réalisation d'un système de rafraichissement passif air/air à base de bois	EKOMY ANGO Serge, MOUTOU PITTI Rostand, NGUEMA Chancèle
C 20	Événements acoustiques liés au gel de l'eau dans le bois	PONOMARENKO Alexandre, AMÉGLIO Thierry
C 21	Rôle des interactions azote x eau du sol dans les rapports de compétition entre plantes, application à la régénération de jeunes plants de Chêne en compétition avec la Molinie	VERNAY Antoine, MALAGOLI Philippe, AMEGLIO Thierry, BALANDIER Philippe
C 22	Pourquoi les petits arbres produisent du bois de mauvaise qualité mécanique ?	DLOUHA Jana, Florian Roux, Meriem Fournier
C 23	Activité « Anatomie quantitative et Formation du bois » de la plate-forme Xylosciences	HAMADA Joël, Anélie PETRISSANS, Frédéric MOTHE, Mathieu PETRISSANS, Philippe GERARDIN
C 24	Etude la variabilité intra-spécifique et intra-arbre des extractibles nodaux chez le sapin pectiné selon différentes conditions de croissance	KEBBI-BENKEDER Zineb-, COLIN Francis, DUMARÇAY Stéphane, GÉRARDIN Philippe
C 25	Measuring Larch adaptive potential to climatic changes using wood formation monitoring along an altitudinal gradient in the French Alps(Briançon)	SADERI Seyedehmasomeh, Meriem Fournier, Cyrille Rathgeber
C 26	Comportement mécanique dynamique du bois vert en compression	PFEIFFER Renaud, LORONG Philippe, RANC Nicolas, COLLET Robert, DENAUD Louis-Etienne, COTTIN Fabrice
C 27	Modélisation par éléments finis de l'influence des fissures de déroulage sur les propriétés mécaniques du laminated veneer lumber (LVL)	POT Guillaume, DENAUD Louis-Etienne, COLLET Robert, BUTAUD Jean-Claude, KREBS Michaël

A01

**Durabilité de bois de chêne archéologique.
Etude de pieux de soutènement de digue de Somme**

BESSERER Arnaud¹, LETELLIER Maxime²,
FREDON Emmanuel¹, ANTOINE Marie-Laure³, PERRIN Christelle³,
LALLEMAND Julien³, TROUY Marie-Christine¹

¹Laboratoire d'Etude et Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB), Université de Lorraine

²Institut Jean Lamour

³École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois

arnaud.besserer@univ-lorraine.fr

Introduction

Le chêne est une essence de bois locale utilisée depuis des siècles dans la réalisation d'ouvrages. L'abondance des chênes dans les forêts françaises et sa durabilité élevée vis-à-vis des microorganismes lignocellulolytiques en fait une essence de choix pour la conception de fondations en pieux bois durables. Un des principaux problèmes rencontrés par la mise en œuvre du bois en fondation réside dans les fortes variations du taux d'humidité du sol qui influe sur l'humidité du bois. Une forte teneur en eau ne permet que le développement de bactéries de dégradation dans le bois (Kim and Singh, 2000; Klaassen, 2008). Le processus de dégradation par les bactéries est relativement lent, l'avancement se faisant à raison de quelques millimètres par an, permettant ainsi une durée de service moyenne des pieux de fondation de 150 ans (Klaassen, 2014). Cependant lorsque le niveau d'eau baisse et que la quantité d'oxygène augmente, le développement de champignons lignocellulolytiques est favorisé. L'étude présentée ici concerne des pieux en bois de chêne provenant de l'ancienne digue sur la Saône datant de 1673. Ils ont été découverts lors de la construction d'un port de plaisance entre le Bastion Royal et le Bastion du Béchaux à Auxonne en Côte d'or. Le bois est ainsi resté immergé pendant un peu plus de 300 ans dans de l'eau douce. Ces pieux de fondation sont dotés d'une tête renforcée de lamelles de fer afin d'assurer leur pénétration optimale dans les sédiments. L'objectif est d'étudier le comportement du bois de pieux immergés puis soumis aux attaques fongiques afin d'évaluer la durabilité à long terme du bois de chêne.

Caractérisation des différents types de bois avant dégradation par les champignons lignocellulolytiques

Les différents types de bois de chêne étudiés (duramen de bois de chêne actuel, haut de pieu archéologique, bas de pieu archéologique) ont tout d'abord été caractérisés par des tests de résistance mécanique avant de subir un test de dégradation par les champignons basidiomycètes. Cela a permis d'évaluer le maintien des performances mécaniques du bois maintenu immergé. Après une étude colorimétrique des échantillons, des caractérisations de composition chimique et des analyses de cendres ont également été réalisées. Les résultats obtenus montrent des différences au niveau des extractibles ainsi qu'au niveau du taux de cendres entre les différents bois. De plus, les cendres issues du bois du bas de pieu sont caractérisées par un enrichissement en fer.

Caractérisation de la dégradation des bois archéologiques par les différents champignons de la norme EN 113

Afin de tester la durabilité des différents bois vis-à-vis de l'attaque des champignons, des expériences de dégradation en conditions contrôlées ont été conduites suivant la norme (NF-EN-113, 1996). Les analyses de perte de masse montrent une dégradation accélérée des bois archéologiques par rapport au duramen actuel. Ces mesures ont été complétées par des analyses de spectrométrie infrarouge qui ont permis de préciser les constituants pariétaux dégradés par les différents champignons. L'analyse des spectres obtenus montre que les altérations sont dépendantes

du champignon présent mais également du type de bois testé. Finalement, une analyse anatomique associant la tomographie rayons X et la microscopie électronique à balayage a révélé des différences dans le mode de développement des différents champignons et plus particulièrement dans la présence de structures cristallines au voisinage des hyphes colonisant le bois de bas de pieu.

Conclusion

Cette étude complète les connaissances déjà acquises sur la progression de la dégradation du bois par les champignons. Les données obtenues permettent également de montrer l'impact de la composition minérale du sol et du bois sur sa résistance aux attaques par les microorganismes lignocellulolytiques.

Littérature citée

- Kim, Y.S., and Singh, A.P. (2000). Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments: a review. *IAWA J.* 21, 135–155.
- Klaassen, R. (2014). Speed of bacterial decay in waterlogged wood in soil and open water. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 86, 129–135.
- Klaassen, R.K.W.M. (2008). Bacterial decay in wooden foundation piles—Patterns and causes: A study of historical pile foundations in the Netherlands. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 61, 45–60.
- NF_EN-113 (1996). Produits de préservation du bois - Méthode d'essai pour déterminer l'efficacité protectrice vis-à-vis des champignons basidiomycètes lignivores - Détermination du seuil d'efficacité.

A02

Evaluation de la durabilité de pieux de fondation en bois

KLEINDIENST Quentin¹, BLERON Laurent¹, TROUY Marie-Christine¹,
BESSERER Arnaud¹, BOCQUET Jean-François¹

¹Laboratoire d'étude et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB),
Université de Lorraine
quentin.kleindienst8@etu.univ-lorraine.fr

Introduction

Les ouvrages dont les fondations sont constituées par des pieux en bois sont nombreux et ce procédé a été largement utilisé dans le passé. Dans le contexte d'une réduction des émissions de CO₂, le remplacement de pieux béton par des pieux bois constitue une bonne alternative. Cependant le bois est un matériau sujet aux attaques biologiques. Notre projet de recherche consiste en la réalisation d'une étude multi-échelle de la dégradation de pieux de fondation bois par les microorganismes lignocellulolytiques. L'objectif final de cette étude est de modéliser la durabilité de pieux de fondation. Le modèle obtenu vise à établir des dispositions constructives permettant le développement l'utilisation de pieux bois dans la construction.

En première approche, nous avons étudié l'évolution des propriétés mécaniques du bois en corrélation avec l'activité biologique de dégradation sur des éprouvettes de petites dimensions. Ces éprouvettes ont été mises en contact avec un inoculum constitué de bois dégradé broyé et de sol forestier, en conditions extérieures pour une partie d'entre elles et en conditions de température et d'humidité contrôlées pour la seconde partie. Cette approche en mésocosme nous permet d'appréhender à l'échelle locale, en conditions réelle et accélérées la vitesse de dégradation de différentes essences en contact direct avec le sol.

Dans le but de confronter ces résultats à une approche plus globale, nous avons effectué un suivi de la dégradation de mini pieux bois. Le dispositif expérimental vise à simuler les conditions de service de pieux. Il s'agit donc de simuler le niveau de la nappe phréatique et l'attaque par les agents de dégradation du sol. Ainsi, les pieux sont immergés dans leur partie basse et la partie supérieure est maintenue en contact avec le même inoculum forestier composite que celui utilisé dans les mésocosmes. Le suivi de l'évolution de la densité au cours du temps nous a permis de détecter les poches de dégradation. Le niveau de dégradation de ces zones a été évalué en y prélevant des éprouvettes et en soumettant ces dernières à des mesures de compression longitudinale et d'activité enzymatique.

Les données obtenues dans ces deux types d'approches permettent i) d'établir un diagnostic précis de l'état d'avancement de l'altération des propriétés du bois et ii) de débiter l'établissement d'un modèle de dégradation à l'échelle du pieu.

Altération biologique et perte de résistance mécanique

Afin de développer des outils de diagnostic complémentaire au poinçonnage permettant d'évaluer précisément la progression et le type de dégradation présents dans les pieux, des expériences de dégradation accélérée en mésocosme ont été effectuées. Les éprouvettes de dimension 30x25x25 mm ont été usinées dans du bois de hêtre, de chêne et de Pin sylvestre. Le suivi de la dégradation des éprouvettes confrontées à un inoculum forestier dans des conditions extérieures a été effectué pendant 20 semaines. L'activité biologique de dégradation a été déterminée par la mesure d'activités enzymatiques. Les activités mesurées sont les activités laccase, glucosidase et xylosidase, respectivement responsables de la dégradation de la lignine, de la cellulose et des hémicelluloses. Les résultats obtenus ont été confrontés aux mesures de compression longitudinale. Les analyses montrent que la diminution des valeurs de module élastique en compression axiale et de contrainte à la rupture obtenues peut être expliquée par l'activité de dégradation. Des

expériences sont actuellement en cours afin de déterminer la cinétique de dégradation du matériau de manière indépendante du facteur climatique.

Vers un système d'étude des pieux en service

Le suivi par tomographie rayon X de l'évolution de la densité de pieux bois semi-immergés en présence ou en absence de l'inoculum forestier a été effectué. Les résultats obtenus en absence de l'inoculum ont permis de déterminer l'évolution de la migration de l'eau dans les pieux en fonction des différentes essences et des singularités. Ces résultats nous ont permis de dresser des cartographies d'humidité et de délimiter des zones à risque pour les attaques fongiques. Dans un second temps, le suivi en présence de l'inoculum forestier nous a permis de détecter des poches de dégradation potentielles. La comparaison des images de la densité des pieux sur les images de tomographie rayon X a nécessité un développement logiciel afin de pouvoir comparer avec exactitude les images initiales et finales des pieux. Une macro permettant de réaliser une découpe virtuelle du pieu en éprouvettes a également été développée. Ces informations ont été utilisées pour réaliser des prélèvements d'éprouvettes dans ces zones de dégradation potentielle et y effectuer des mesures d'activités enzymatiques.

Conclusion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont permis de valider les méthodologies employées et devraient permettre d'établir une corrélation entre le type d'attaque fongique, le taux d'humidité du bois et la perte de résistance mécanique.

A03

Optimisation de l'aboutage par entures multiples

TRAN Van-Dang¹, OUDJENE Marc¹, MEAUSOONE Pierre-Jean¹

¹Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB),
Université de Lorraine, 27 rue Philippe Séguin, 88000 Epinal
van-dang.tran@univ-lorraine.fr

Introduction

Le BMR (Bois Massif Reconstitué par collage), connaît un fort développement dans le marché de la construction en France. Ce produit présente l'avantage d'être d'une grande stabilité dimensionnelle, tout en restant esthétique. Par ailleurs, il présente des atouts environnementaux importants et stratégiques avec une fabrication issue d'essences françaises. Ainsi, il peut être fabriqué à partir de bois courts, assemblés par aboutage, ce qui envisage une solution pour la raréfaction probable des bois en grande longueur. Ce produit constitue également un axe majeur de valorisation de certaines essences feuillues françaises tels que le frêne et le hêtre, peu utilisées en construction, alors qu'il existe un fort potentiel tant au niveau de la ressource que de leurs performances mécaniques.

Cette présentation est basée sur les résultats de mon travail de recherche effectué depuis trois ans. L'aboutage par entures multiples est un paramètre réducteur en termes de résistance à la rupture des poutres multicouches en bois reconstitué. Par conséquent, l'objectif de ce travail est d'optimiser les paramètres géométriques de l'enture en vue d'une augmentation de sa résistance en flexion.

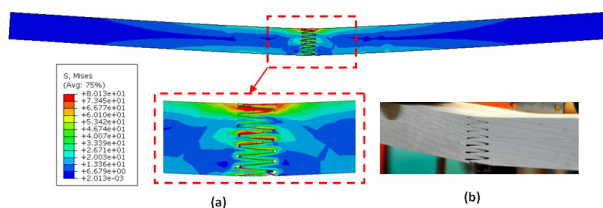
Approche globale de recherche

Deux parties principales (partie expérimentale et partie numérique) sont organisées dans cette recherche. En ce qui concerne la première partie, des tests expérimentaux (caractérisation du hêtre, des aboutages par entures multiples, du collage et des poutres multicouches sans et avec aboutages) sont réalisés. Dans la deuxième partie, un modèle numérique élément finis est développé afin d'évaluer le comportement des poutres du BMR incluant le phénomène de délaminage, la rupture des joints de colle et le comportement de l'assemblage par entures multiples. Le modèle numérique obtenu dans cette deuxième partie permettra de sortir des analyses telles que l'étude paramétrique (module d'élasticité, épaisseur de plis, ...) et l'optimisation des paramètres géométriques de l'enture.

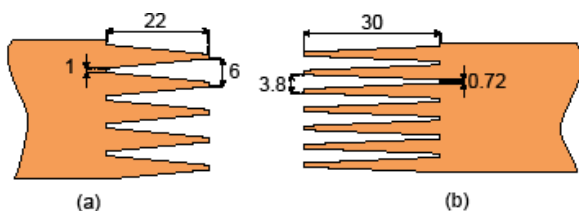
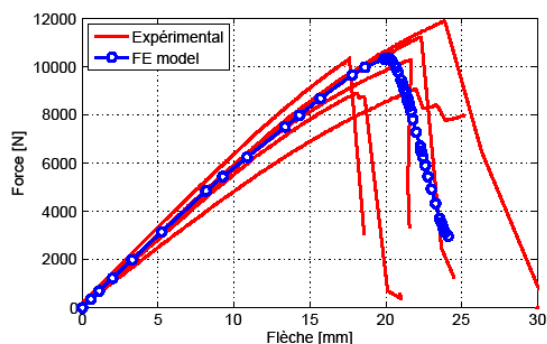
Méthodologie d'optimisation des paramètres géométriques de l'enture

Nous présenterons en premier lieu le problème général d'optimisation en mécanique des structures. Nous formulerons ensuite le problème d'optimisation de l'assemblage par aboutage. Pour la résolution du problème d'optimisation, nous utiliserons la Méthode des Surfaces de Réponse (MSR), basée sur la technique des plans d'expériences, couplée avec un algorithme de minimisation dans Matlab.

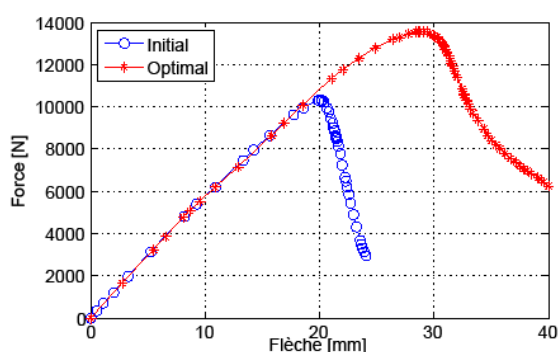
Réalisation de l'optimisation



Étape 1: Développement d'un modèle élément finis simulant le comportement des entures (l'assemblage des entures, le collage)



Étape 3: Optimisation des paramètres géométriques de l'enture; (a) avant optimisation, (b) après optimisation



Étape 4: Evaluation des valeurs obtenues par l'optimisation (ex. gain de résistance,...)

Conclusion

La géométrie optimisée par la voie modélisation donne une augmentation de surface de collage de 2,15 fois par rapport à celle de la géométrie initiale. Cela permet d'augmenter d'environ 33% la résistance mécanique des aboutages en flexion. Les simulations numériques effectuées sur les poutres DUO et TRIO en considérant la géométrie optimisée de l'enture ont montré un gain de résistance de 49% et 22%, respectivement.

Références

- Tran V.D., Oudjene M., Méausoone P.J. (2014) FE analysis and geometrical optimization of timber beech finger-joint under bending test, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 52, 40-47.
- Tran V.D., Oudjene M., Méausoone P.J. (2015) Experimental and numerical analysis of the structural response of adhesively reconstituted beech timber beams, *Composite Structures*, 119, 206-217.
- Tran V.D., Oudjene M., Méausoone P.J., Pizzi A., Gautier M., Roy K. (2014) Experimental study of multi-layered beam made of beech timber glued with different adhesives, *World Conference on Timber Engineering (WCTE)*, 10- 14 august 2014, Québec, Canada.

A04

Modélisation, simulation, et application de méthodes originales de production industrielle pour la construction boisMOUSSAVI Esmail¹, BOUALI Anis¹, MÉAUSOONE Pierre-Jean¹¹Laboratoire Etude et Recherche sur Matériau Bois (LERMAB), Université de Lorraine
seyed-esmail.moussavi@univ-lorraine.fr**Introduction**

La gestion de projet dans le secteur de la construction bois est bien trop souvent soumise à des incertitudes environnementales difficiles à modéliser : humain, structurelle, logistique... Dans ces conditions, il devient très difficile de prédire et de garantir les performances du projet de construction. Coûts, délais, qualité sont autant de critères nécessitant une maîtrise certaine dans le déroulement du projet. La démarche proposée dans ce travail consiste dans un premier temps à apporter une nouvelle modélisation des flux d'informations et de matières intervenant dans les projets de construction bois. Deux concepts sont alors introduits. Une approche fonctionnelle du type SADT (*Structured Analysis and Design Technique*) est envisagée pour la modélisation de projet de « construction bois ». Une approche BIM est ensuite exploitée pour proposer de nouvelles méthodologies de production.

Contexte scientifique

Le secteur de la construction bois, située à la jonction de plusieurs domaines industriels, est un milieu privilégié pour le développement de nouvelles techniques de gestion de projets complexes. En effet, bien souvent les projets de construction du type « bâtiment bois » font appel à une diversité de produits issus de l'industrie du panneau, passant par ceux de la charpente et par ceux des industries de l'isolation, de la menuiserie. La diversité des produits et des informations associées ainsi que les processus de fabrication mis en jeu, fait qu'il est aujourd'hui difficile d'imaginer l'avenir sans passer par une centralisation des informations « projet » et la mise en place d'un standard normalisé du type IFC (Industrial Foundation Classes). Plusieurs travaux de recherche allant dans ce sens ont vu le jour durant les dix dernières années. A ce titre, nous pouvons citer les travaux d'Eastman. Certains comme Merschbrock ont adapté la méthodologie BIM à la construction bois. La démarche présentée dans ses travaux est néanmoins restreinte à une application très particulière de la construction bois (une maison individuelle ossature bois en Norvège). Le but de notre démarche ici est d'étendre cette méthodologie à des projets plus généraux dans le domaine de la construction bois. Pour cela il est nécessaire de comprendre et de modéliser le fonctionnement de ce type de projet, notamment à l'aide d'une démarche du type SADT. Ce type de modélisation conceptuelle a été précédemment exploité dans différents secteurs et plus particulièrement sur le secteur bois dans les travaux de Méausoone afin de proposer un formalisme sur le lien conception-fabrication. En s'inspirant de cette démarche, nous allons proposer une description fonctionnelle des projets du type construction bois. La multitude des produits, des logiciels et des acteurs mise en jeu justifie cette démarche. Le tableau suivant indique les différences de compatibilité entre les logiciels les plus couramment utilisés dans ces industries.

Logiciel	Métier	Compatibilité	Orienté objet
Autocad	Architecture	IFC	Oui
Rhino	Architecture	IFC	Oui
Cadwork	Conception Bâtiment bois (Charpente / Ossature Bois...)	BTL	A partir de 2008
SEMA	Conception Bâtiment bois (Charpente / Ossature Bois...)	BTL	A partir de 2002
Topsolid	Conception Meuble / Cuisine	BTL	A partir de 2006
Powerstair	Conception Escalier	ISO	Non
Lignocam	CFAO	ISO / BTL	Oui
Mastercam	CFAO	ISO	Oui
EasyWood	CFAO	ISO	Oui

Fig. 1 : Compatibilité logiciels pour la construction bois

Une première expérimentation, dans le cadre de la dixième édition des défis du bois, nous a permis d'appliquer cette démarche de modélisation en s'appuyant sur certains des outils de conception :

- Orienté architecture tel que Rhino
- Orientée métiers du bois tels que Cadwork, et Lignocam.

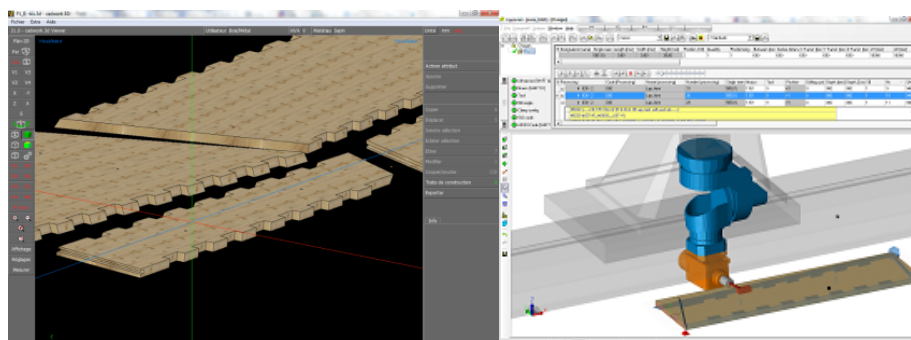


Fig. 2 : Transfert d'informations Cadwork / Lignocam

Le transfert des données techniques et morphologiques a été réalisé entre les différents programmes, en suivant le chemin classique de la conception vers la fabrication.

Conclusion

Le constat de ces transferts a été une perte ou un manque d'informations et parfois une reconstruction pour permettre une continuité des opérations. Cette expérimentation à petite échelle nous montre déjà les voies à explorer pour une structuration globale dans une démarche BIM.

Références

- Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K., BIM Handbook : a guide to Building Information Modelling for owners, managers, designers, engineers and contractors, John Wiley & Sons, (2011).
- Merschbrock C, Unorchestrated symphony: the case of inter organizational collaboration in digital construction design, Journal of Information Technology in Construction (2012).
- Méausoone P-J, Approche en ingénierie concourante pour les industries du bois, Doctorat de l'Université Henri Poincaré (1996).

Mots-clefs : Building Information Modeling (BIM), construction bois, gestion de projet.

A05

Procédés de séchage du bois adaptés à l'utilisation d'énergies intermittentes

S

ALEM Thouraya¹, BOUALI Anis¹, PERRÉ Patrick²,
MOUGEL Eric¹, REMOND Romain¹¹Université de Lorraine, LERMAB, ENSTIB, Epinal, France²Ecole Centrale Paris, LGPM, Châtenay-Malabry, Franceromain.remond@univ-lorraine.fr**Contexte scientifique et objectifs**

Le séchage du bois d'œuvre est un procédé couteux en énergie. La réduction de la facture énergétique est un objectif prégnant. L'utilisation des énergies intermittentes à faible contenu exergétique (rejets d'eaux de refroidissement des centrales électriques, énergie solaire, énergie éolienne...) ou l'insertion du procédé dans un réseau de distribution d'électricité « intelligent » (*smart grid*) sont des voies envisagées. Cependant l'intermittence de l'apport énergétique ne permet pas d'appliquer les conduites de séchage généralement utilisées dans les industries du bois qui préconisent une augmentation de la température au cours du cycle de séchage. En outre, le faible contenu exergétique conduit à réaliser un séchage à basse température, alors que celui-ci est lent et la qualité du produit fini est plus difficile à obtenir par rapport à un séchage à moyenne température (55 °C – 85 °C) où les propriétés viscoélastiques du bois sont plus fortement activées.

Le présent travail a pour objectif de contribuer au développement d'une régulation « intelligente » pour le procédé de séchage du bois d'œuvre. Celle-ci permettra par exemple d'appliquer les conditions de séchage optimales selon les priorités des industriels en matière de coût, durée de séchage, qualité, consommation énergétique. La régulation utilisera le code *TransPore*, un outil numérique développé par Patrick Perré (LGPM-ECP) (Perré et Degiovanni, 1990). Le choix des conditions optimales nécessitera 3 étapes : (i) vérifier en cours de cycle le caractère prédictif du modèle numérique, (ii) éventuellement réajuster certaines grandeurs physiques en entrée, (iii) calculer les conditions de séchage (humidité relative, vitesse de l'air) optimales (durée/qualité) selon l'apport énergétique disponible à l'instant considéré et anticiper son évolution.

Ce travail présente des essais qui ont été réalisés pour dans un premier temps valider ou améliorer la prédiction des contraintes de séchage par le code.

Essais de séchage

Nous avons réalisé des essais expérimentaux de séchage sur des échantillons de chêne en conduite constante et oscillante. Dans un séchage classique, la température sèche de l'air augmente progressivement, et inversement, l'humidité relative de l'air diminue progressivement. La conduite oscillante consiste à faire osciller la teneur en eau d'équilibre du bois au lieu de la maintenir constante.

Des configurations particulières de séchage ont été retenues : le séchage dissymétrique (*flying wood*) (Fig.1a) et le séchage sous charge (flexion trois points) (Fig.1b), afin de révéler à travers la courbure de l'échantillon l'état des contraintes internes.

Ces essais ont pour but d'améliorer les prédictions du modèle mécanique du code *TransPore*. Différentes formulations proposées dans la littérature pour les propriétés différées du matériau (mécanosorption, viscoélasticité) seront implémentées dans le code puis validées par confrontation avec ces essais.

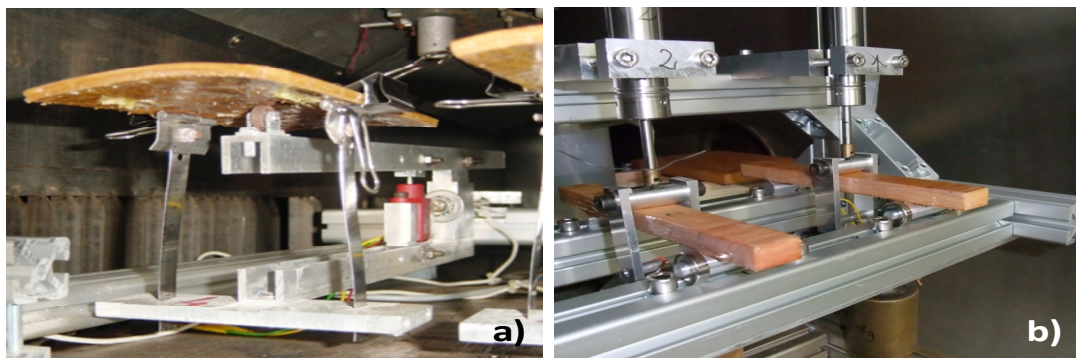


Fig. 1 : Echantillons fixés aux dispositifs expérimentaux: (a) flying wood et (b) fléxion 3 points. (Mariella Lefevre, 2012)

La confrontation entre les mesures et la simulation présentée dans les figure 2 et 3 montre que le code est capable de prédire correctement la cinétique du séchage (Fig.2) par contre, la formulation actuelle du modèle mécanique (Rémond et al., 2007) ne trouve pas la même dynamique au niveau de la courbure (Fig.3).

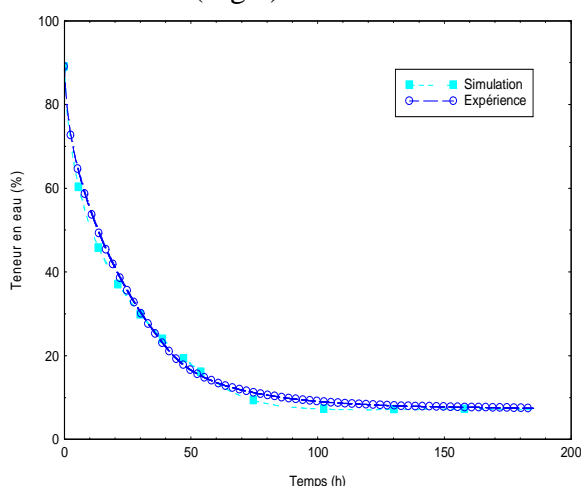


Fig. 2 : Confrontation des profils de teneur en eau simulés et expérimentaux- séchage constant-dissymétrique

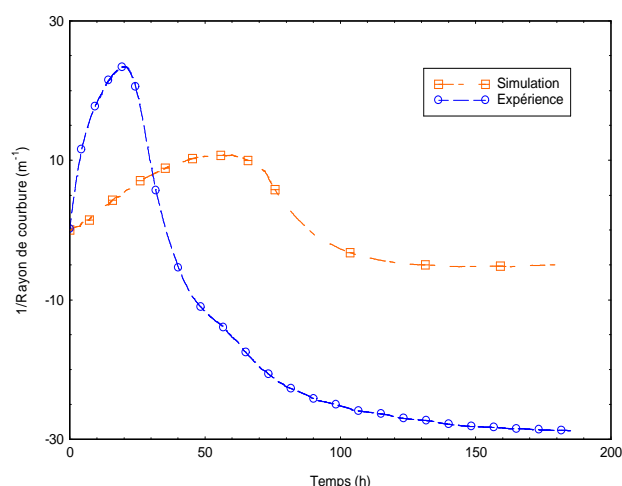


Fig. 3 : Confrontation de la courbure simulée et expérimentale- séchage constant-dissymétrique

La formulation mécanique des propriétés différées actuellement utilisée dans ce code doit être revue.

Références

- Lefevre, M. (2012). Utilisation de conduites de séchage oscillantes pour réduire les contraintes liées au retrait du bois. Thèse, Agro ParisTech-Engref.
- Perré, P. et Degiovanni, A. (1990). Simulation par volumes finis des transferts couplés en milieux poreux anisotropes: séchage du bois à basse et à haute température. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol.33 (11). pp: 2463-2478.
- Rémond, R., Passard, J., Perré, P. (2007). The effect of temperature and moisture content on the mechanical behaviour of wood: A comprehensive model applied to drying and bending, *European Journal of Mechanics*, 26 (3), 558-572.

A06

A la recherche des pins perdus
Exploitation et usages du bois de pin par les Mayas des Basses Terres à la
période classique : l'exemple du site de Naachtun (Petén, Guatemala)
DUSSOL Lydie¹

¹Université de Paris 1 & UMR 8096 Archéologie des Amériques
lydie.dussol@mae.u-paris10.fr

Résumé

Au cœur de la forêt tropicale du Yucatán, la récurrence de charbons de bois de pin (*Pinus* sp.) dans divers contextes du site archéologique de Naachtun (250-950 après J.-C.) confirme l'hypothèse déjà avancée lors de précédentes études anthracologiques sur d'autres sites des Basses Terres centrales, selon laquelle le pin revêtait une importance économique et symbolique majeure au sein des sociétés mayas anciennes (Lentz *et al.* 2005 ; Morehart 2011).

De nos jours, et en particulier dans les Hautes Terres du Guatemala où le pin abonde, les populations emploient couramment ce bois comme combustible, en particulier pour les démarrages de feu, compte tenu de sa teneur élevée en résine. Cette résine odorante entre également dans la composition des encens traditionnels brûlés au cours des cérémonies religieuses. Bien que l'ancienneté de ces pratiques reste encore mal définie, la présence de charbons de *Pinus* sp. sur d'autres sites des Basses Terres, comme Tikal, El Mirador, Río Bec ou Xunantunich (Fig. 1), permet de penser qu'il s'agissait d'une matière première importante, déjà à l'époque classique. L'hypothèse de l'importance économique du bois de pin découle, en réalité, du fait que cette essence ne pousse pas actuellement aux alentours de ces sites centraux. Pour être y consommé, le bois de pin devait donc être soit importé depuis ses zones de croissance naturelle (les *Maya Mountains* ou la côte caribéenne du Belize), soit cultivé à proximité des sites. Cette dernière possibilité est alimentée par la légende des pins de Holmul, dont on dit communément qu'ils sont les vestiges d'une plantation préhispanique datant de l'occupation de Tikal. Ce peuplement très localisé de pins caribéens se situe dans le bassin versant du fleuve Holmul à une quinzaine de kilomètres au nord-est de Tikal. Il constitue une véritable énigme écologique dans la mesure où il se trouve en plein cœur d'un marécage saisonnier, caractérisé par des sols argileux et une végétation basse et épineuse, environnement *a priori* peu favorable à la croissance naturelle des pins. Plus énigmatique encore est le caractère exceptionnel de ce peuplement, seul de ce type connu dans la région. Si aucune recherche n'a permis pour l'instant d'en déterminer l'ancienneté, pas plus que l'origine, naturelle ou anthropique, la présence de cette « pinède » à cet endroit prouve néanmoins que le pin caribéen est capable de s'adapter à ce type de milieu. L'hypothèse d'une sylviculture préhispanique de pins dans des secteurs proches des sites, et dans des milieux similaires, devient alors tout à fait plausible d'un point de vue strictement écologique.

Qu'il s'agisse d'importation ou de sylviculture (ou d'une combinaison des deux systèmes), l'utilisation du bois de pin à Naachtun soulève d'importantes questions économiques et environnementales. Les recherches futures devront tester les différentes hypothèses et évaluer la profondeur chronologique de l'utilisation du pin à Naachtun, afin de mieux comprendre cet aspect des relations entre les sociétés mayas anciennes et les divers peuplements forestiers.

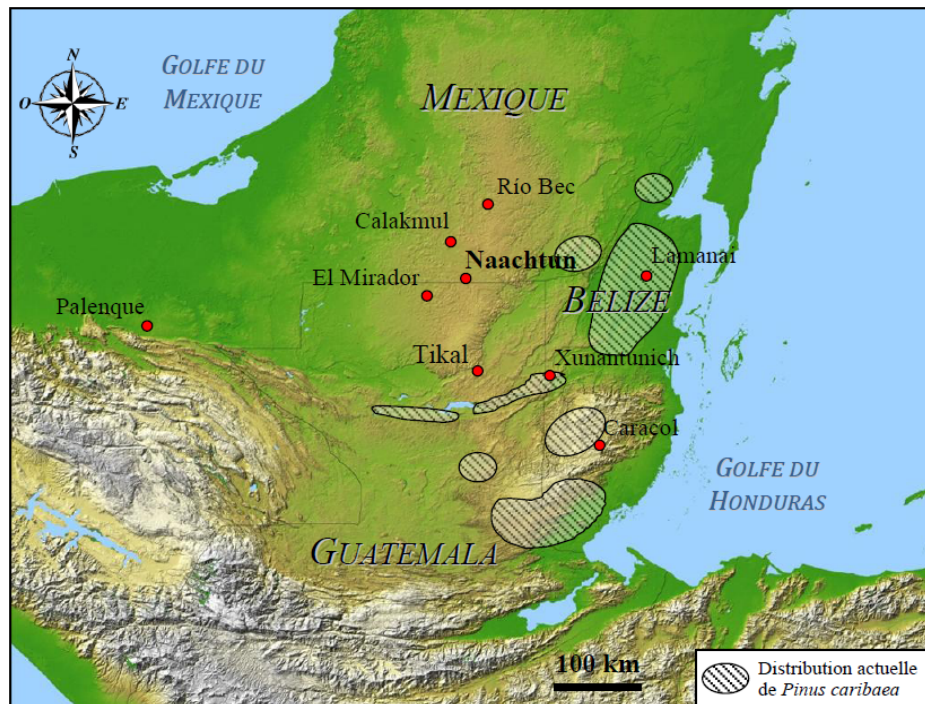


Fig. 1 : Le pin dans les Basses Terres centrales

Références

- Lentz, D. L., Yaeger J., Robin C., Ashmore W. (2005) Pine, prestige and politics of the Late Classic Maya at Xunantunich, Belize. *Antiquity* 79 (305): 573-585.
- Morehart, C. T. (2011) Food, fire and fragrance. Paleoethnobotanical perspectives on Classic Maya cave rituals. BAR International series.

A07

Photogrammétrie, SIG et modélisation 3D : La réalité virtuelle au service de l'analyse des modes de construction des maisons en bois de l'Arctique nord-américain (XVe-XVIe s.)

MÉREUZE Rémi¹, ALIX Claire¹

¹Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 8096, Archéologie des Amériques
remi.mereuze@gmail.com

Introduction

L'étude présentée ici s'intègre dans une recherche plus large portant sur les techniques de construction des maisons de la culture de Thulé (ancêtres directs des Inuit) dans l'Arctique occidental (Alaska, delta du Mackenzie), du XVe au XXe siècle. Cette étude a nécessité la mise en place d'une méthode d'enregistrement, d'analyse et de modélisation des éléments architecturaux en bois issus de fouilles archéologiques.

Les maisons de l'Arctique occidental

L'étude des éléments d'architecture en bois est rendu possible par l'exceptionnelle préservation de nombreux sites gelés de l'Arctique américain. Les sites du cap Espenberg dans le nord-ouest de l'Alaska contiennent des maisons bien préservées dont les datations s'étalent entre le XIIe au XIXe siècle (Harritt 1994, Hoffecker & Mason 2011). Ces constructions semi-enterrées formées d'une charpente en bois (avec parfois des os de baleine) et recouvertes de tourbes ont été utilisées principalement l'hiver même si elles sont souvent considérées comme des maisons permanentes. Une étude poussée des techniques de construction repose, entre autres, sur l'analyse spatiale des éléments architecturaux des maisons, autant du point de vue des essences sélectionnées que des modes de débitage employés.

L'enregistrement photogrammétrique

La photogrammétrie a été utilisée pour l'enregistrement des éléments architecturaux échantillonnés sur le site. Les éléments porteurs de marques de travail ont ainsi été conservés en tant qu'image virtuelle en trois dimensions (figure 1).

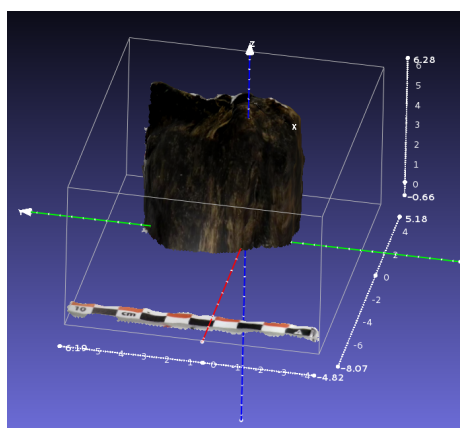


Fig. 1: Élément architectural relevé en 3D,
vu dans meshlab

Une autre utilisation de la photogrammétrie est prévue pour les prochaines campagnes de terrain. Au cours de l'avancement des fouilles et donc du démontage des éléments d'architecture, ceux-ci seront d'abord enregistrés en photogrammétrie aboutissant à un modèle calable dans l'espace grâce

un Système d'Information Géographique (S.I.G.) et afin de conserver la topographie des éléments permise par ce mode d'enregistrement (Egels & Kasser 2001). L'avantage de cette méthode qui a pu être testée sur d'autres terrains est sa fiabilité quant à la conservation des mesures dans les modèles produits en réalité virtuelle et la légèreté du matériel impliqué.

L'ensemble des étapes de cet enregistrement par photogrammétrie a été réalisé avec des logiciels libres, Python Photogrammetry Toolbox (développé par Arc-Team) pour la création du nuage de points et Meshlab (développé par le laboratoire de vision par ordinateur de l'ISTI du CNR) pour le rendu de surface, les textures et le géoréférencement.

L'analyse spatiale

Comprendre les choix des artisans thuléens lors de la construction de leurs maisons passe par l'identification des essences employées comme des modes de débitages des éléments d'architecture. Ces informations sont liées à leur localisation dans la maison. L'analyse spatiale fine se fait dans un S.I.G. grâce au croisement des données photogrammétriques et des descriptions des bois archéologiques entrées dans une base de données relationnelle. Le rendu abouti à une cartographie des éléments architecturaux retrouvés en contexte archéologique, sur laquelle il est possible par exemple d'afficher les essences ou les modes de débitage. Le logiciel utilisé est QGIS, développé dans le cadre du projet OSGeo (www.qgis.org).

La modélisation 3D

La modélisation en trois dimensions permet d'établir, tout en les visionnant, les hypothèses émises lors des étapes précédentes d'analyse. Il devient alors possible de reconstruire virtuellement la maison en tenant compte des essences utilisées et de la forme des éléments architecturaux assemblés. La base de données spatiale en deux dimensions du S.I.G. est ainsi projetée en trois dimensions, améliorant la visualisation des données, ce qui autorise une analyse spatiale des choix réalisés par les constructeurs thuléens. Les éléments effondrés sont aussi redressés pour tenter de les replacer dans un état d'origine. Blender (<http://www.blender.org>) est le logiciel utilisé pour cette étape.

Conclusion

Les techniques de photogrammétrie, de S.I.G. et la modélisation 3D constituent une chaîne d'outils permettant d'aller de l'enregistrement à la modélisation des données archéologiques en passant par leur analyse critique. Les choix qui entrent dans la construction des maisons du cap Espenberg sont aussi mis en évidence grâce à une analyse spatiale en trois dimensions. Enfin, la méthodologie présentée ici montre sa faisabilité par l'utilisation exclusive de logiciels libres.

Références

- Egels, Yves & M. Kasser (2001) *Photogrammétrie numérique*, ENSG-IGN, Hermès Sciences Publications, Paris.
- Harritt, Roger K. (1994) *Eskimo Prehistory on the Seward Peninsula*, Resources Report NPS/ARO/RCR/CRR-93/21 U.S. National Park Service, Alaska Region, Anchorage.
- Hoffecker, John F. & Owen Mason (2011) Human response to climate change at Cape Espenberg AD 800-1400: Field investigations at Cape Espenberg, 2011. Annual report to the National Park Service, U.S. Department of the Interior.

Mots-clés : Archéologie, Alaska, culture de Thulé, travail du bois, technologie, photogrammétrie, S.I.G., réalité virtuelle.

A08

Caractérisation de la rigidité des assemblages d'éléments de meuble par la simulation numérique

MAKHLOUF Heba^{1,2}, CHEVALIER Luc¹, FAVIER Elie¹,
ROUX Marie-Lise², LAUNAY Eric²

¹Laboratoire de Modélisation et Simulation Multi Echelle,
MSME UMR 8208 CNRS, Université Paris-Est, France

²Institut technologique Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement,
FCBA, Paris, France

Heba.makhlouf@univ-mlv.fr

Introduction

Le Comité européen de normalisation (CEN) a approuvé de nombreux essais normalisés sur des produits de l'industrie de l'ameublement. Ces essais sont coûteux et ne permettent, qu'a posteriori, de connaître la capacité des meubles testés à résister aux efforts appliqués. L'objectif de ce travail est de mettre en place un outil de simulation par éléments finis (EF) à base de poutres destiné aux industriels de l'ameublement, visant à réaliser numériquement des essais normalisés sur les meubles en bois.

Contenu de l'outil de simulation

L'outil proposé traite plusieurs aspects :

- Comportement élastique anisotrope du bois (modélisation isotrope transverse).
- Modélisation du comportement semi-rigide et non linéaire des assemblages (Chevalier et al 2013, 2014).
- Modélisation probabiliste des propriétés mécaniques pour des simulations stochastiques (Makhlouf et al 2014).

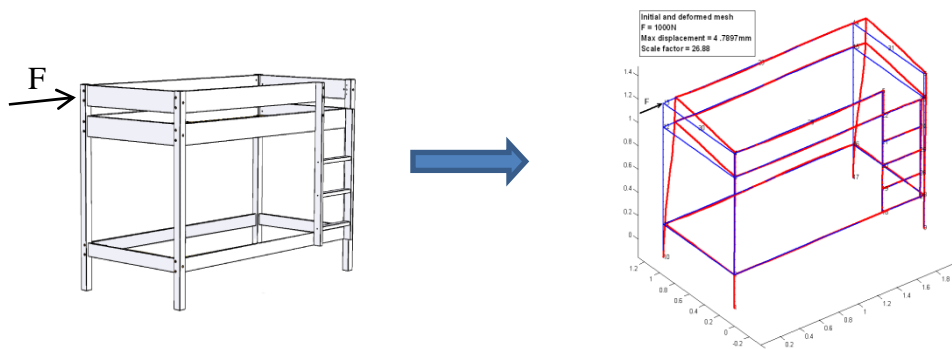


Fig. 1 : Modélisation de l'essai par une simulation numérique équivalente

Démarche utilisée et validation expérimentale

Une approche en deux étapes a été utilisée pour caractériser le comportement de l'assemblage :

- 1 - Détermination de la rigidité du « coin » parfait par la méthode des déplacements en théorie des poutres.
- 2 - Détermination de la rigidité du « coin » réel numériquement par la simulation EF 3D en considérant les composants d'assemblage (vis, écrou, tourillon...).

Par la soustraction des rigidités de ces deux coins, le comportement non linéaire de la liaison semi-rigide a été identifié. La courbe moment-rotation est modélisée par une fonction linéaire multipliée par une exponentielle décroissante. Ce modèle a été implanté dans un code EF non linéaire. Un

exemple type portique a été traité par ce code ainsi que par la simulation 3D : la comparaison des résultats était très satisfaisante. La courbe moment-rotation a été aussi identifiée par la mesure de champs de déplacement en utilisant une technique de corrélation d'images : un écart important a été observé entre la simulation 3D et l'expérimentation.

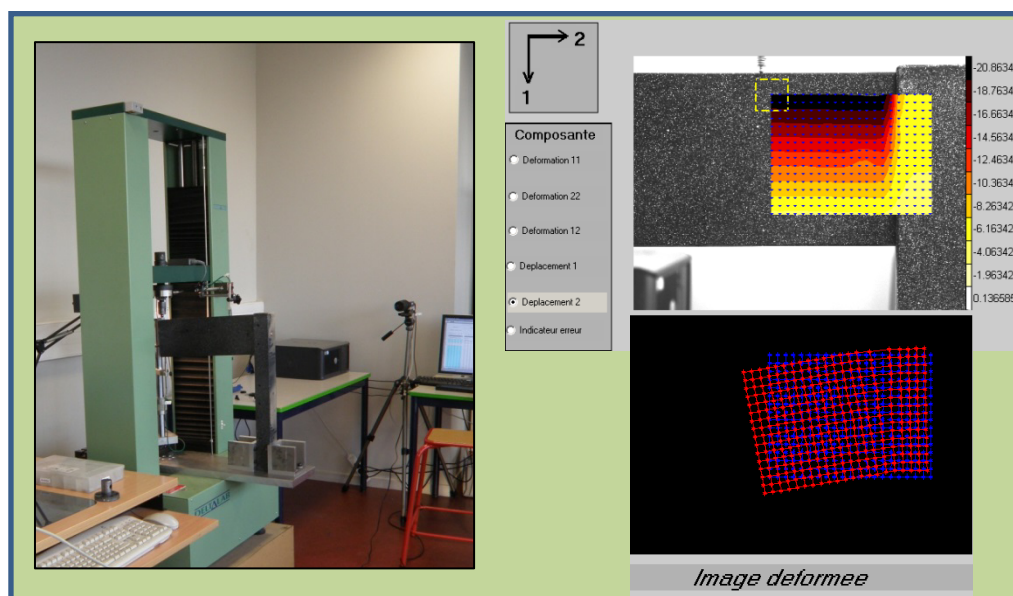


Fig. 2 : Mesure de champs de déplacement par corrélation d'images

Conclusion et perspective

L'écart observé entre la simulation et l'expérimentation peut être dû à l'effet fortement non linéaire du comportement du bois au voisinage des éléments d'assemblage. Le travail en cours vise à évaluer ce comportement par l'identification inverse en utilisant la méthode FEMU.

Références

- Chevalier L., Makhlouf H., Jacquet-Faucillon B. (2013,2014). Caractérisation de la rigidité des assemblages d'éléments de meuble par la simulation numérique. Partie 1, Technologie 187:38-51. Partie 2, Technologie 190:32-50.
- Makhlouf H., Chevalier L., Launay E. (July 2014). A stochastic approach for virtual tests on wood furniture. Conferences ICEM16, Cambridge, UK.
- Makhlouf H., Chevalier L., Favier E., Launay E. (Soumis 2014). A stochastic approach for the evaluation of the reliability of wood furniture in an industrial context. fpj.

A09

Lutter contre le changement climatique : Quelle sylviculture du pin maritime en Aquitaine pour quels usages ? Essai méthodologique

CAILLY Priscilla¹, VIGUIER Clément², CORNILLER Claire³

¹Institut Technologique FCBA, Pôle Bitoechnologie et Sylviculture avancée,
71 route d'Arcachon, 33610 Cestas, France

²FCBA, Institut Technologique FCBA, Pôle Bitoechnologie et Sylviculture avancée,
71 route d'Arcachon, 33610 Cestas, France

³FCBA, Institut Technologique FCBA, Pôle Environnement-Santé,
Allée de Boutaut, BP 227, 33028, Bordeaux cedex, France

Résumé

Suite aux tempêtes de 1999 et 2009, le massif des Landes de Gascogne est en reconstruction. Dans un contexte global de réchauffement climatique, et local de l'évolution des besoins des industriels, l'occasion est donnée d'adapter la sylviculture du pin maritime en Aquitaine. Ainsi, dans le cadre du projet Fortius, six grands scénarios sylvicoles ont été établis et doivent être évalués. Il s'agissait de construire un modèle permettant d'évaluer les stocks de carbone à l'échelle de la parcelle pour ces différents scénarii. Le modèle permet d'établir les stocks de carbone sur pied et de carbone récolté, détaillés par compartiments de l'arbre grâce à l'assemblage d'un modèle de croissance et de modèles de calcul de biomasse. Ce modèle est complété par un module d'évaluation des scénarios d'usage qui prolonge l'étude au devenir du bois récolté. La séquestration temporaire du carbone dans le bois sur pied est favorisée dans les itinéraires "haute-qualité". La productivité de ces itinéraires est faible, mais peut éventuellement être compensée par un usage dans des produits à longue durée de vie. A l'opposé, les itinéraires "biomasse" présentent une forte productivité mais séquestrent peu de carbone. Ils restent très intéressants dans une optique de production d'énergie alternative à l'énergie fossile. Les itinéraires "courte révolution" avec une coupe rase autour des 30 ans présentent des résultats satisfaisants en terme de séquestration temporaire dans le bois sur pied en profitant d'un accroissement fort, et en terme de productivité, faisant de ce scénario sylvicole un scénario polyvalent et efficace. Les itinéraires "semi-dédiés" eux ne sont pas très efficaces ni en terme de production, ni en terme de séquestration à cause d'une densité d'installation forte créant un retard de croissance pénalisant, et ne sont pas à recommander. Des efforts restent à faire sur la prédiction des usages du bois pour avoir une vision globale des scénarios sylvicoles à privilégier.

Mots-clés : Sylviculture, Aquitaine, Pin maritime, modélisation, changement climatiques.

A10

La dureté Persoz : une nouvelle voie d'étude pour évaluer les performances des revêtements sur bois en extérieur ?

MALASSENET Lise¹, PODGORSKI Laurence¹, GEORGE Béatrice², MERLIN André³

¹Institut Technologique FCBA, Allée de Boutaut, 33028 Bordeaux, France

²LERMAB, Laboratoire d'Études et de Recherche sur le MATériau Bois, Boulevard des Aiguillettes,
54506 Vandoeuvre les Nancy cedex

lise.malassenet@fcba.fr

Introduction

L'ambition du projet TIMBIRDE (Traitements Innovants Multifonctionnels pour la production de Bois Ignifugé Résistant et Durable en usage Extérieur) est de mettre au point des formulations et des procédés multifonctionnels innovants de traitement des bois utilisés en extérieur, permettant de limiter leur reprise d'eau, de renforcer leur stabilité dimensionnelle, et de leur assurer une protection durable contre l'altération esthétique, le feu et les agents de dégradation biologique. Plus spécifiquement, le travail de thèse se concentre sur le développement d'un traitement de surface permettant une amélioration de la durabilité de l'aspect et sur les phases d'évaluation des performances conférées lors de vieillissements climatiques naturels et accélérés. Dans ce contexte, les traditionnelles cotations (craquelage, écaillage, changement d'aspect...) ne sont pas suffisantes et l'étude des propriétés mécaniques des revêtements devrait permettre une meilleure compréhension des vieillissements.

Objectifs

Dans un premier temps, l'objectif est d'étudier les changements de propriétés mécaniques des films lors du vieillissement pour compléter les traditionnelles cotations. Ensuite, l'objectif sera d'établir des seuils de dureté Persoz en lien avec les performances lors du vieillissement pour aider le formulateur dans le développement de revêtements au sein du projet TIMBIRDE.

Méthode et matériel

Le pendule de Persoz est constitué d'un cadre muni de deux billes en acier qui reposent sur le revêtement à tester. Le test s'inspire de la norme EN ISO 1522 (2007), on exprime en secondes une dureté dite de Persoz. Cinq revêtements acryliques commercialisés (A, B, C, D et E) ont été appliqués en 3 couches à la brosse sur pin Sylvestre avec un séchage à l'air ambiant. On distingue les éprouvettes témoins (T0) n'ayant subi aucun vieillissement, les éprouvettes (QUV 12) ayant subi 12 semaines de vieillissement artificiel et les éprouvettes (QUV 24) ayant subi 24 semaines de vieillissement artificiel. Ces vieillissements ont été réalisés selon la norme EN 927-6 (2006). Seize mesures de dureté ont été réalisées à l'aide du pendule de Persoz par système finition/vieillissement.

Résultats

Les résultats de dureté Persoz sont représentés sur la Fig.1 qui répertorie les moyennes et l'intervalle de confiance à 95% obtenus sur les éprouvettes témoins et après 12 et 24 semaines de vieillissement artificiel dans un QUV.

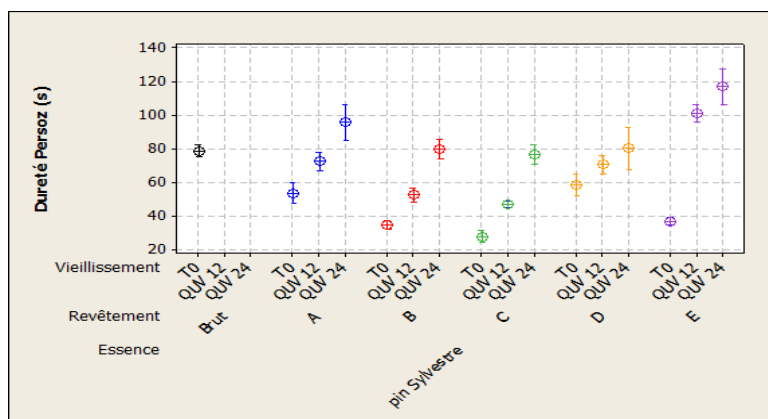


Fig. 1 : Dureté Persoz (secondes) pour différents systèmes Vieillissement/Finition sur pin Sylvestre

Le Tableau 1 synthétise les cotations visuelles (craquelages et aspect général) observées après 12 et 24 semaines de QUV. Pour les revêtements B et C, il permet de mettre en évidence un lien entre bonnes performances au vieillissement et faible dureté Persoz initiale.

Tab.1 : Craquelage et aspect général des différents revêtements sur pin Sylvestre après 12 et 24 semaines de vieillissement artificiel

Revêtement	Craquelage après QUV 12	Changement d'aspect après QUV 12	Craquelage après QUV 24	Changement d'aspect après QUV 24	Dureté Persoz initiale (s)
A	0,8	1,2	1	5	54
B	0	1	0	1	34
C	0	1	0,5	2,3	28
D	1,5	3,5	2	3	58
E	0,5	5	0	5	37

Conclusion

La mesure de dureté Persoz est une méthode simple et non destructive qui permet de différencier les revêtements sur bois. Le vieillissement artificiel conduit à une augmentation de dureté Persoz. Enfin, une faible dureté Persoz initiale ainsi qu'une faible variation de dureté au cours du vieillissement semble correspondre à une bonne résistance au vieillissement.

Références

EN 927-6 (2006) Produits de peinture et systèmes de peinture pour bois en extérieur. Partie 6 : Vieillissement artificiel des revêtements pour bois par exposition à des lampes UV fluorescentes et à de l'eau.

EN ISO 1522 (2007) Peintures et vernis : Essai d'amortissement du pendule.

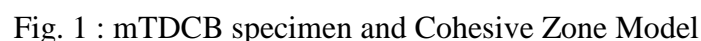
Malassenet L., Podgorski L., George B., Merlin A. (2014) Variations in surface hardness of exterior wood coatings after artificial and natural weathering. 9th International Woodcoatings Congress, Amsterdam (NL), 14-15/10/2014.

Integration of rapid variation of moisture content in a cohesive zone model: study of crack propagation in wood

¹Université Bordeaux, I2M/GCE, 351 cours de la libération-33405 Talence cedex France
na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr

Nowadays, the fracture mechanic approach is more and more performed to estimate time to failure of timber structures. Recently, cohesive zone models (CZM) have also been successfully employed to simulate the crack initiation and the crack growth in quasi-brittle materials such as concrete, wood and composite. In the quasi-brittle material: during the developing of the fracture process zone (FPZ), the energy release rate (fracture energy) increases to reach the critical fracture energy corresponding to the maximal size of the FPZ. Advantages of the CZM are: i) it does not require the existence of a pre-crack, ii) cracks and the crack growth are analyzed without remeshing to avoid the cumbersome due to the update of the mesh to match the discontinuity geometry. Moreover, not only the mechanical field in history but also the linear visco-elastic orthotropic behavior or the viscoelastic mechanosorptive behavior (Dubois et al. (2012)) of wood can be taken into account. Moreover, mechanical properties of wood depend on the temperature and the moisture content (Guitard (1987)). Varying moisture induces internal stresses which may cause cracks; the cracking also depends on the moisture. Because the FPZ at the crack tip is directly submitted to air humidity variations (Chaplain and Valentin (2010)). In this study, a new methodology in which the integration of the rapid variation of moisture content in the cohesive zone model is proposed in order to understand the mentioned phenomenon as well as the mechanical response of this model.

The CZM with a bilinear softening function (Fig.1c) suggested by Morel et al. (2010) is used to describe the quasi-brittle fracture of wood under the variation of moisture contents. The direction of the crack propagation is assumed to be in the center plane of the specimen (Fig.1a), joint element which represents the cohesive interface is used. In the CZM, firstly the material follows a linear elastic law, secondly the crack initiates at the joint points (released node) occurring when the stress σ reaches the tensile strength f_t and thirdly the macro-crack opens while stress transfers from one face to another. The stress is perpendicular to the crack faces and is a function of the crack opening w ($\sigma = f(w)$). A damage parameter d is used to describe the state of the interface, which evolves from 0 to 1.



- 52 -

In the finite element code, during the time increment Δt_n , the crack opening w is considered constant, fictive stress σ_{n+1}^f can be written as following:

$$\begin{cases} \sigma_n = K_n w = \frac{E_0 f(MC_n, w)}{e} K_0 (1-d) w \\ \sigma_{n+1}^f = K_{n+1} w = \frac{E_0 f(MC_{n+1}, w)}{e} K_0 (1-d) w \end{cases} \quad \text{with } 0 \leq w \leq w_c$$

$$\Delta \sigma_n = \sigma_{n+1}^f - \sigma_n$$

The value $\Delta \sigma_n$ will be converted into the external mechanical nodal force increment inducing on the cohesive zone during the time increment Δt_n which allows incorporating the mechanical response history and the moisture content. Displacement and stress fields at the time t_{n+1} will be calculated by solving the nonlinear mechanic problem. These calculations have been implemented in source code ESOPE of Cast3m.

From results shown in Figure 2, in the wetting process while the imposed displacement is constant (phase 2), the stiffness decreases leading to stress reduced in the cohesive zone, cracks tend to be closed which makes the applied force tend to increase and crack do not further develop. All phenomena are converse in case of the drying phases. Phase 3 is continued with the increasing imposed displacement and constant moisture in which we observe a continuity of the mechanical response which takes into account all previous changes.

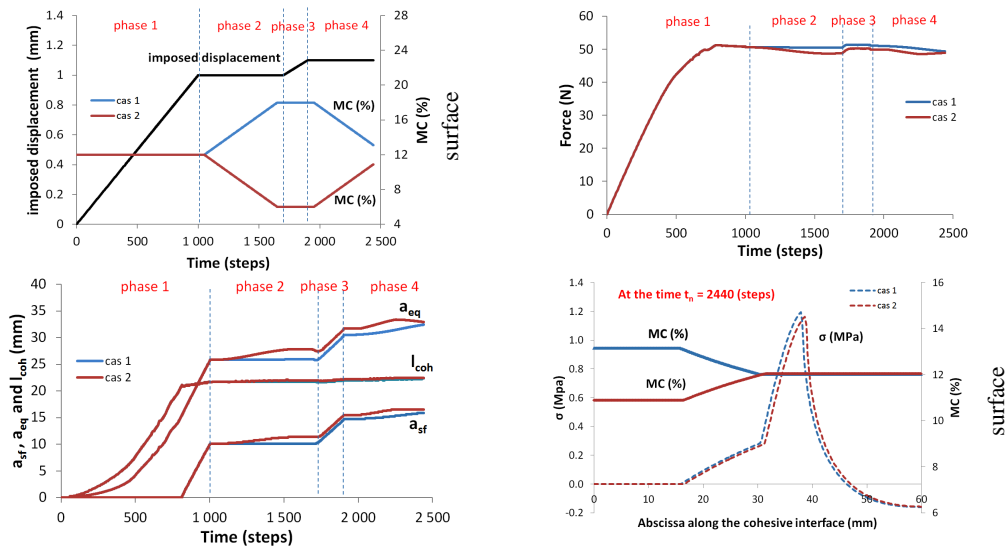


Fig. 2: Two $MC_{surface}$ variation scenarios and the mechanical response

Conclusion

In this research, a new model where the integration of the influence of the moisture content on the cohesive zone is proposed and implanted in Cast3m. In further studies, this model will be analyzed with the moisture diffusion inside the whole specimen which results in elastic property and viscoelasticity variation.

Reference

- Chaplain M., Valentin G. (2010) Effects of relative humidity conditions on crack propagation in timber: experiments and modelling, in World Conf. Timber Eng., 1–8.
- Dubois F., Husson J.-M., Sauvat N., Manfoumbi N. (2012) Modeling of the viscoelastic mechano-sorptive behavior in wood, Mech. Time-Dependent Mater. 16, 439–460.
- Guitard D. (1987) Mécanique matériau bois et composites, CEPAD.
- Morel S., Coureau J.-L., Planas J., Dourado N. (2010) Bilinear softening parameters and equivalent LEFM R-curve in quasibrittle failure, Int. J. Solids Struct. 47, 837–850.

A12

Behaviour analysis of conventional timber frame wall under seismic actionVERDRET Yassine^{1,2}, FAYE Carole², ELACHACHI Sidi Mohammed¹¹University of Bordeaux 1, I2M, department of Civil and Environmental Engineering, Avenue des facultés, 33405 Talence, France,²Technological Institute FCBA, Allée Boutaut, BP227, 33028 Bordeaux cedex
yassine.verdret@etu.u-bordeaux1.fr**Introduction**

For buildings complying with construction rules as criteria for structural regularity, lateral force method of analysis in Eurocode 8 (2005) is used to design timber structures under seismic actions where a simple linear-elastic analysis is made. Another possible way to predict behaviour structures under seismic actions is the capacitive method or the Nonlinear Spectral Method inspired by Fajfar's work (2000). This method reproduces the major potential energy dissipation mechanisms activated in the fasteners connecting the sheathing panels to the wooden frame, during an earthquake.

So, in this paper, we proposed to present the results obtained from the application of the Nonlinear Spectral Method (Fajfar, 2000) to the behavior analysis of an element of a conventional timber frame wall made by two OSB sheathing panel under seismic action in order to predict its maximal displacement and acceleration. The behavior law of this element is obtained by four different bilinear idealizations of the envelope curve of cyclic tests. The numerical results are compared to those obtained by dynamic tests carried out on a shaking table at the FCBA (2012).

Tests On Timber Frame Wall

Two cyclic tests (named MC in the following) were conducted under cyclic testing standard ISO 21581 (2010) and made with a linear constant vertical load of 625 kg / m. This configuration aims to represent real conditions loads experienced by the shear walls. To use the Nonlinear Spectral Method, we assume that the pushover curve which provides the relationship between the shear force at the base of the structure and the roof displacement could be described by the envelope curve of cyclic tests.

The dynamic tests on a shaking table were undertaken in order to follow the linear and nonlinear dynamic behaviour of the shear walls and identify the modal parameters (frequencies, damping, mode shapes). The three used input signals were representative of the French and European seismic hazard. Six shear walls tests were performed.

Application of Spectral Nonlinear Method to a Timber Frame Wall

The Spectral Nonlinear Method combines a pushover analysis of a multiple degrees of freedom system (MDOF) and an inelastic response spectrum analysis of an equivalent system with one degree of freedom (SDOF) (Fajfar, 2000).

The accelerograms are first transformed into elastic response spectrum in the spectral Acceleration – Displacement plane ($S_{ae}=f(S_{de})$) with a damping ratio of 15% (noted during dynamic tests). In a second step, the capacity diagram of timber frame walls is built. It is assumed that the material is slightly heterogeneous thereby experimental cyclic curves are representative of all walls. One can add that the studied system is considered as a simple degree of freedom system.

To build the capacity diagram and distinguish between the elastic behaviour and the inelastic one for each sample, the envelope curve is idealized by a bilinear relationship Force-Displacement. To do this, the energy equivalence between the two systems is considered. The post-peak stiffness is assumed to be equal to zero. The four chosen methods to determine the yield stress are the EN

594's method (1996), the ASTM E 2126A's method (2008), the Karacabeyli & Ceccoti's method (K&C) (2005) and CSIRO's method (2008).

By superimposing the capacity diagram and the elastic response spectrum expressed on the Acceleration – displacement spectral plane, one can determine the performance point (PP) (see figure 1) of the structure which correspond to the intersection between the idealization curve and the response spectrum.

Results

For each wall and its bilinear idealizations, knowing its natural period, we compare the numerical results to those obtained by dynamic test (maximum displacement, maximum acceleration).

In order to evaluate the accuracy of the four methods of bilinearization, we used the following error index:

$$e = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{model}} - U_{\text{exp}}}{U_{\text{exp}}}\right)^2 + \left(\frac{A_{\text{model}} - A_{\text{exp}}}{A_{\text{exp}}}\right)^2} \quad (1)$$

Where U_{model} : is the numerical displacement, U_{exp} : the experimental displacement, A_{model} : the numerical acceleration and A_{exp} : experimental acceleration. From this index, there are broadly two classes (in ascending order of accuracy): ASTM E 2126A (2008) and NF EN 594 (1996).

Conclusions

It was established that the N2 method (Fajfar, 2000) based on the NF EN 594 (1996) to determine the yield stress of the bilinear law, reproduces correctly displacements and accelerations. Error margins between actual and simulated results established with the other methods used to determine the yield stress are less stable.

References

- ASTM E 2126A. (2008). Standard test methods for cyclic load test for shear resistance of vertical elements of the lateral resisting systems for buildings. AFNOR.
- Fajfar, P. (2000). A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Design. Earthquake Spectra, Vol. 16, N°3, 573-592.
- FCBA. (2012). Test report N°403/11/725/12/422, Essais sismiques de murs à ossature bois, SISMOB Project. Bordeaux: FCBA.
- ISO 21581. (2010). Timber structures - Static and cyclic lateral load test methods for shear walls. ISO.
- Karacabeyli, E., Yasumura, M., Foliente, G., & Ceccoti, A. (2005). Background information on ISO standard 16 670 for cycling testing of connections. Proceedings of the International Council for Research and Innovation in building Construction, Working Commission W18, Timber structures.
- Muñoz, W., Salenikovich, A., & Quenneville, P. (2008). Need for a harmonized approach for calculations of ductility of timber assemblies. Proceedings of the International Council for Research and Innovation in building Construction, Working Commission W18, Timber structures. St. Andrews, Canada.
- NF EN 1998-1. (2005). Calculation of structures for earthquake resistance. AFNOR.
- NF EN 594. (Février 1996). Timber structures – Tests method –Test of stiffness and strength for shear walls. AFNOR.

Acknowledgement

The ANRT, the Regional Council of Aquitaine, the CODIFAB and the DHUP are acknowledged for their financial support.

A13

**Une modélisation de la résistance en flexion du Pin Maritime
utilisé dans la construction**GRAZIDE Cécile¹, COUREAU Jean-Luc¹, COINTE Alain¹, MOREL Stéphane¹¹Université Bordeaux, Laboratoire I2M département GCE
c.grazide@i2m.u-bordeaux1.fr**Introduction**

L'anisotropie et l'hétérogénéité du bois de structure rendent sa caractérisation mécanique délicate en comparaison à des matériaux isotropes et plus homogènes comme le béton ou encore l'acier. De toutes les hétérogénéités présentes dans ce matériau, les nœuds et la pente de fil associée sont les sources les plus préjudiciables vis à vis de la perte de résistance mécanique, (Roblot et al. 2008) et (Hofstetter et al. 2007). Néanmoins, la perte de rigidité et de résistance de l'élément de structure ne

peut être quantifiée précisément, ce qui rend difficile la distinction entre les poutres de faibles et

fortes qualités mécaniques. Bien que les méthodes de classement, en termes de résistance, tentent de prendre en compte ces défauts, soit par une inspection visuelle, soit par l'utilisation du module d'élasticité global (MOE) de l'élément structural. La garantie du classement est loin d'être assurée dans le cas du bois de structure avec un R^2 de 0.52 entre le MOE et le module de rupture (MOR) pour le Pin Maritime (Coureau et al. 2010).

L'objectif de ce travail est donc d'étudier l'influence des nœuds sur la perte de résistance de poutres en pin maritime dans le but d'améliorer le classement mécanique. Pour cela, cette étude s'appuie sur une campagne d'essais menée sur 200 poutres en Pin Maritime de dimensions 4500x200x100 mm testées en flexion 4 points.

Analyse statistique

La première partie de cette étude a été de créer une base de données qui recensait les critères visuels de ces nœuds présents sur les deux faces latérales et le chant tendu (nombre, taille, position ...) et les propriétés mécaniques et physiques (humidité, densité, MOE, MOR) de ces poutres.

Par la suite, une étude statistique a été menée dans le but d'identifier les variables pertinentes à la prédiction du MOR en flexion. Pour cela, différents outils ont été utilisés, à savoir la régression linéaire pas à pas pour définir les variables explicatives et l'approximation de fonction polynomiale puis par réseaux de neurones pour définir l'équation prédictive.

Il a été alors montré que les variables explicatives propres aux défauts étaient (1) la position selon la hauteur et (2) la forme du nœud le plus « tendu » sur les faces latérales, $N_{crit_{FL}}$, et (3) la taille du nœud le plus gros du chant tendu, $N_{crit_{CT}}$.

A partir de ces différentes variables et du module d'élasticité, la prédiction du MOR a mené à un R^2 de 0.7.

Pour justifier la présence de ces paramètres dans le modèle prédictif et afin de compléter cette base de données par des propriétés mécaniques, la suite de cette étude s'est axée sur des modélisations 2D par éléments finis d'un tronçon de poutre en présence d'un nœud avec intégration de la distorsion des fibres.

Modélisations numériques

Ces différents modèles avaient pour variables la position et la taille du nœud et les propriétés élastiques des deux composants (bois et nœud). Des tronçons de poutres sollicités en flexion ont été

modélisés afin de reproduire les conditions de chargement qui s'appliquaient aux faces latérales et par équivalence, d'autres sollicités en traction ont été simulés afin de décrire le comportement mécanique de la fibre inférieure tendue (chant tendu) en flexion.

Les résultats obtenus ont permis de montrer qu'un nœud engendre une amplification des contraintes causée par la perturbation des axes d'orthotropie. Sur la base des champs de contraintes obtenus, il a été utilisé un critère de rupture adapté aux composites anisotropes (Tsai-Hill) qui permet de prendre en compte le tenseur des contraintes dans le volume sollicité et l'anisotropie du matériau. Sur la base de l'hypothèse d'un comportement élastique-fragile du bois, ce type de critère de rupture et la connaissance des résistances ultimes exprimées dans les axes d'orthotropie du matériau permettent alors d'évaluer la contrainte provoquant la rupture de l'élément.

Les contraintes équivalentes des 200 poutres en Pin Maritime ont été alors estimées en fonction de la position et de la taille des deux nœuds identifiés, dans la partie statistique, comme pertinents. Cette contrainte a été déterminée comme étant la valeur minimale de celles déterminées sur les tronçons de poutres sollicités en flexion et en traction. Les contraintes équivalentes calculées uniquement sur la base des propriétés géométriques des défauts sont du même ordre de grandeurs que celles obtenues par voie expérimentale. Malgré des seuils équivalents, la corrélation entre les contraintes réelles et celles issues de l'étude numérique est encore insuffisante ($R^2=0.24$).

En effet par cette estimation de la contrainte équivalente, la majorité des valeurs sont comprises entre 10 et 30 MPa. Ces faibles valeurs de contraintes correspondent à des contraintes équivalentes liées à la présence d'un nœud critique situé sur la fibre tendue inférieure. Un autre critère pourrait être alors mis en place afin d'éviter de donner un poids trop important aux contraintes issues des tronçons de poutre sollicités en traction (tronçons de poutre censés représenter le chant tendu des poutres).

Références

- G. Roblot, D. Coudegnat, L. Bleron, and R. Collet. Evaluation of the visual stress grading standard on french spruce (*picea excelsa*) and douglas-fir (*pseudotsuga menziesii*) sawn timber. In *Annals of Forest Science - ANN FOR SCI*, volume 65, pages 812–812. 2008.
- K. Hofstetter, C. Hellmich, and J. Eberhardsteiner. Micromechanical modeling of solid-type and plate-type deformation patterns within softwood materials. a review and an improved approach. In *Holzforschung*, volume 61, pages 343–351. 2007.
- J.L. Coureau, A. Cointe, and M. Giton. Modelling behaviour of timber from image analysis. The future of quality control for wood and wood products, Edinburgh, The final conference of COST Action E53, 4-7 May 2010.

Mots-clefs: Classement mécanique, analyse statistique, modélisations numériques.

A14

Optimisation du procédé de fabrication de matériaux isolants à base de fibres de bois

LAPALU Jérémy¹, Vignon Pierre², DELISÉE Christine³, MOREAU Jérôme⁴

¹Bordeaux Sciences Agro, Gradignan

²FINSA Morcenx / I2M, Bordeaux

³Bordeaux Sciences Agro, Gradignan / I2M, Bordeaux

⁴LUNAM, Ecole Supérieure du Bois, Nantes / I2M, Bordeaux

jeremy.lapalu@agro-bordeaux.fr

Résumé

Nous nous intéressons ici aux matériaux isolants à base de fibres de bois non tissées. Ces matériaux sont constitués d'un mélange de fibres de bois et d'une faible proportion de fibres bicomposants polyester/co-polyester. Le procédé de fabrication comprend l'enchevêtrement de la matière (ouvraison), le nappage de la matière, puis la consolidation thermique en four.

On s'intéresse en particulier à la partie ouvraison du procédé. Après une phase de prise en main du matériel de fabrication du laboratoire I2M, un plan d'expérience sur les paramètres de l'ouvreuse a été mis en place (vitesse d'alimentation, puissance des ventilateurs, nombre de passages...). Ce plan d'expérience a pour but de nous apporter des réponses sur l'influence des paramètres sur les propriétés du matériau fini. Nous mesurerons en priorité la masse volumique, le module d'élasticité spécifique en compression, et la résilience comme variables de sortie du plan d'expérience.

Pour le module d'élasticité spécifique, les tests statistiques indiquent que l'on peut tirer des conclusions sur l'effet des paramètres avec au mieux 30% de chances de se tromper.

Pour la résilience, les résultats sont plus significatifs : Les p-values sont comprises entre 10 et 20%. Ce plan d'expérience nous a donc permis d'obtenir l'effet des paramètres du procédé sur la résilience ainsi que sur le module d'élasticité spécifique. Nous pouvons maintenant établir des recommandations sur la méthode d'optimisation des matériaux isolants à base de fibre de bois.

Références

Tran.H, Doumalin.P, Delisee.C, Dupre.J.C, Malvestio.J, Germaneau.A, (2012). "3D mechanical analysis of low-density wood-based fiberboards by X-ray microcomputed tomography and Digital Volume Correlation". Springer Science+Business Media New York.

Tran,H. (2012) "Study of compression behavior of wood-based fiberboard: Characterization from non-destructive image technics".

Delisée.C MalvestioJ Lux.J Castéra.P Chaunier.L Chrusciel.L (2005). « Microstructure et propriétés de transport de matériaux isolants à base de fibres cellulosiques » 25e rencontres de l'AUGC, 23-25 mai 2007, Bordeaux.

Mots-clefs : Fibres non tissées, isolants bois, optimisation, procédé.

A15

Propriétés mécaniques des racines de structure de *Pinus pinaster*

DEFOSSEZ Pauline¹, COINTE Alain², COUREAU Jean-Luc², MOREL Stéphane²,
BONNEFOND Jean-Marc¹, GARRIGOU Didier¹, LAMBROT Cathy¹, DANJON Frédéric³

¹INRA, UMR1391 ISPA, F-33140 Villenave d'Ornon, UMR1391

Bordeaux Sciences Agro, UMR 1391 ISPA, 33170 Gradignan, France

²Université de Bordeaux, UMR 5295, Institut de Mécanique et d'Ingénierie – Bordeaux (I2M),
Dépt. Génie Civil et Environnemental (GCE), 33000 Bordeaux France

³INRA, UMR1202 BIOGECO, 33610 Cestas, France

Université de Bordeaux, UMR1202 BIOGECO, 33610 Cestas, France

Pauline.Defossez@bordeaux.inra.fr

Résumé

Les dommages liés au vent sont la première cause de destruction des forêts : la tempête Klaus a mis à terre 37 106 m³ de bois en Europe (70% par chablis, i.e. arrachage de l'arbre, 16% par volis, i.e. rupture du tronc). Alors que depuis deux décennies, l'impact de la vitesse du vent sur la stabilité des arbres a été largement étudié (Dupont et al., 2010), l'ancrage des arbres est encore largement méconnu (Ennos, 2000 ; Gardiner et al., 2010). Depuis quelques années, ont été développés des modèles biomécaniques numériques et des techniques de mesure 3D qui permettent potentiellement d'étudier ces effets numériquement (Fourcaud et al., 2008 ; Danjon et al., 2008). Ces approches numériques ont été utilisées pour étudier l'importance de l'architecture du système racinaire sur l'efficacité de l'ancrage racinaire et la stabilité de l'arbre (Fourcaud et al., 2008). Cependant ces modèles utilisent des paramètres pour décrire la résistance mécanique des racines basée sur des mesures réalisées sur les parties aériennes des arbres par manque de mesures sur des racines de structure (Yang et al., 2014). L'objectif de cette étude est de quantifier la résistance mécanique des racines de structure du *Pinus pinaster* par des essais en flexion et en compression. Nous présenterons les mesures réalisées sur un système racinaire d'un sujet adulte de 24 m. Les racines de structure ont été prélevées selon différentes les directions et des éprouvettes ont été taillées dans les racines pour réaliser des essais de flexion 4 points et des essais de compression pour en déduire des modules élastiques, des limites de plasticité et des résistances en compression et traction. Ces mesures ont été réalisées sur du bois vert à l'humidité de prélèvement. L'analyse des résultats montrent les variations des propriétés mécaniques des racines en fonction de la masse volumique, de l'humidité, de la teneur en cellulose et en lignine du bois et en fonction de la direction des vents dominants.

Références

- Danjon, F. and Reubens, B. (2008) Assessing and analyzing 3D architecture of woody root systems, a review of methods and applications in tree and soil stability, resource acquisition and allocation. *Plant and Soil*, 303(1-2): 1-34.
- Dupont, S., Gosselin, F., Py, C., de Langre, E., Hémon, P. and Brunet, Y. (2010) Modelling waving crops using large eddy simulation: comparison with experiments and a linear stability analysis. *Journal of Fluid Mechanics*. 652, 5-44.
- Ennos, A.R. (2000) The mechanics of root anchorage. *Advances in Botanical Research Incorporating Advances in Plant Pathology*, Vol 33, 33: 133-157.
- Fourcaud T., Ji J. N., Zhang Z. Q. and Stokes A. (2008) Understanding the impact of root morphology on overturning mechanisms: a modelling approach. *Annals of Botany* 101, 1267-1280.
- Gardiner, B., Blennow, K., Carnus, J-M, Fleischer, P., Ingemarson, F., Landmann, G., Lindner, M., Marzano, M., Nicoll, B., Orazio, C., Peyron, J-L., Reviron, M-P., Schelhaas, M-J., Schuck, A.,

Spielmann, M., and Usbeck, T. (2010). Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts. Final Report to EC DG Environment.

<http://ec.europa.eu/environment/forests/fprotection.htm>.

Yang, M., Défossez, P., Danjon, F., Fourcaud, T., 2014. Tree stability under wind: simulating uprooting with root breakage using a finite element method. *Annals of Botany*. *Annals of Botany* 114, 695-709.

Mots-clefs : Ancrage racinaire, stabilité, racines de structure.

A16

Auscultation non destructive des structures du génie civil en bois - Mesure de l'humidité dans les ouvrages d'art en boisLI Hang¹, PERRIN Marianne¹, EYMA Florent¹¹Institut Clément Ader, IUT de Tarbes, 1 rue Lautréamont, 65000 TARBES, Francehang.li@iut-tarbes.fr, marianne.perrin@iut-tarbes.fr**Résumé**

Depuis quinze ans, on recommence à construire des ouvrages et structures en bois en raison des préoccupations environnementales mais également de la légèreté et de la facilité de mise en œuvre de ces ouvrages. Cependant, des pathologies comme la fissuration, le délaminage, ainsi que les attaques fongiques et les attaques d'insectes ont été constatées sur les ouvrages d'art en bois. La principale condition d'apparition de ces pathologies est l'humidité excessive du matériau. Les gestionnaires d'ouvrages ont exprimé leurs besoins en techniques de contrôle de l'humidité interne du bois. (Barbier 2007, Trouy et Triboulot 2008)

Les études menées récemment sur le Contrôle Non Destructif (CND) du bois mettent clairement en évidence la sensibilité de certaines techniques vis-à-vis de l'humidité du matériau (Bucur 2003). Notre étude s'est principalement focalisée sur le potentiel de trois d'entre elles : les ultrasons US, le Radar et les acousto-ultrasons AU.

Dans ce travail, quatre types d'échantillons ont été utilisés : le chêne massif, le douglas lamellé-collé, et l'épicéa massif et lamellé-collé. Le protocole expérimental mis en place a pour but de suivre l'évolution des paramètres CND en fonction du taux d'humidité. Pour cela, nos échantillons ont été plongés dans l'eau et des mesures régulières ont été réalisées (deux fois par semaine). Outre l'influence du taux d'humidité sur les mesures CND, nous nous sommes également intéressés à l'influence de l'essence, de la direction des fibres, du nombre de joints collés et des dimensions des échantillons sur les mesures.

Concernant la méthode par ultrasons, le paramètre mesuré est la vitesse de propagation des ondes ultrasonores. Nous avons constaté qu'elle diminue sensiblement en fonction de l'humidité, ceci est plus marqué dans la direction radiale que les deux autres directions (longitudinale et tangentielle). Cependant, l'intensité du signal reçu est très atténuée lorsque les dimensions d'échantillon augmentent (ex : 308 mm). Cette technique est donc fortement limitée par la dimension de l'échantillon. Lors de nos essais, nous avons également constaté que la vitesse ultrasonore varie d'une essence à l'autre, et qu'elle est ralentie par la présence des joints de colle.

Pour la méthode radar, la vitesse de propagation des ondes réfléchies diminue sensiblement en fonction de l'humidité dans les trois directions. Les dimensions des échantillons ont également une grande influence sur les mesures. Une dimension très petite (ex : 80 mm) ne peut pas garantir une séparation correcte du signal, et une dimension très grande (ex : 308 mm) peut atténuer fortement l'amplitude du signal. Qui plus est, une dimension de section plus grande que la dimension de l'antenne radar (105 × 170 mm) peut engendrer une légère augmentation de la vitesse (<5%). Par conséquent, une dimension appropriée (ex : 160 mm avec une section de 105 × 170 mm) est requise pour la mise en œuvre de cette technique. Lors de nos essais, nous avons également constaté que la vitesse des ondes réfléchies varie d'une essence à l'autre et qu'elle est ralentie par la présence des joints de colle.

Enfin, en ce qui concerne la méthode par acousto-ultrasons ; elle est sensible à l'humidité sur des dimensions plus importantes. D'après nos résultats, les paramètres amplitude, énergie et énergie absolue sont fortement corrélés au taux d'humidité. Ces trois paramètres diminuent en fonction de l'humidité pour une dimension importante (308 mm) mais les résultats sur les petites dimensions (80 mm, 138 mm) sont peu concluants.

Références

Barbier V. (2007) Développement durable et utilisation du bois dans les ponts, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nancy, 8 pages.

Trouy M.C., Triboulot P. (2008) Matériau bois Structure et caractéristiques, 26 pages.

Bucur V. (2003) Nondestructive characterization and imaging of wood, Springer series in wood science, 354 pages.

Mots-clefs : auscultation non destructive, ouvrages d'art en bois, humidité, radar, ultrasons, acousto-ultrasons.

A17

Influence de l'essence sur l'état de surface du bois usiné et sur son aptitude à la finition

RAMANAKOTO Miora F.^{1,2}, RAJEMISON Andraina H.^{1,2}, EYMA Florent¹,
BELLONCLE Christophe³, RAMANANANTOANDRO Tahiana^{2,3}

¹Laboratoire Institut Clément Ader à l'IUT de Tarbes,
Département Génie Mécanique et Productique, Université Paul Sabatier Toulouse III, France.

²Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts,
Université d'Antananarivo, Madagascar.

³Groupe École Supérieure du Bois, Nantes, France

miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr

Résumé

La connaissance des propriétés technologiques des essences de bois est très importante afin de connaître leurs potentialités et les différentes possibilités de valorisation. Une des potentialités recherchées par les industriels de l'ameublement et de la menuiserie est l'aptitude du bois à recevoir une finition. A Madagascar, mais également en Europe, l'utilisation des produits de finition à base de solvant a été restreinte pour réduire l'émission des composantes organiques volatiles, nocifs pour l'environnement et la santé humaine (Roux et Delorme 2012). Les industriels ont ainsi dû se tourner vers l'utilisation de produits de finition à base d'eau, qui soulèvent davantage les fibres du bois et obligent à effectuer l'opération d'égrenage. L'objectif de cette étude est de comprendre comment les différentes propriétés du bois des essences influencent sur la performance à la finition.

Dix essences autochtones de bois malgache et six essences exotiques ont été usinées par défonçage. Une seule condition de coupe, issue d'une zone de coupe acceptable pour toutes les essences étudiées, a été utilisée. Les paramètres de rugosité (sRa, sRk, sRpk, sRvk, sRsk, sRku) et les paramètres de mouillabilité (angle de contact et taux de mouillage) ont été mesurés sur la surface du bois usiné.

Les propriétés anatomiques des essences ont été évaluées par observation au microscope électronique à balayage, leurs propriétés chimiques (taux d'extractible dans le bois), leurs propriétés physico-mécaniques (densité, dureté, retrait volumique, module d'élasticité en flexion, contrainte de rupture en flexion statique, contrainte de rupture en compression axiale) ont également été mesurées.

Pour les essais de vernissages, deux produits de finition aqueux ont été utilisés : un produit de fond « HAC 6 - Fond Hydro » et un vernis « HSC 6A 033 - Bi-couche Hydro ». Les critères de performance utilisés pour juger l'aspect de la finition sont : l'écart de couleur entre le bois brut et le bois vernis, la brillance, l'adhésion de la finition (NF D 60-050 2009) et l'importance des relevés de fibre sur la surface vernie.

Des relations ont pu être établies entre les différentes propriétés du bois des essences et les critères de performance à la finition. Il s'avère que les particularités de chaque essence influencent fortement l'état de surface du bois usiné, et par conséquent, son aptitude à la finition.

Références

Roux, M.L. et Delorme, T. (2012). Les finitions aqueuses pour les TPE et PME de l'ameublement et de l'agencement: des solutions pratiques. FCBA.

NF D 60-050 (2009). Ameublement – Méthodes générales d'essai des finitions.

Mots-clés : essence, états de surface, extractibles, finition, performance, propriétés anatomiques, propriétés physico-mécaniques, propriétés d'usinage.

A18

Meilleure connaissance des propriétés des bois malgaches pour une valorisation durable des essences autochtones

RAJONSHON Hanitra¹, GERARD Jean²,
GUIBAL Daniel², RAMANANANTOANDRO Tahiana¹

¹Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts,
BP 175 Antananarivo 101, Madagascar.

²CIRAD, UR BioWooEB, Wood, Energy, Bioproducts, TA B-114/16,
73 rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France
ramananantoandro@gmail.com

Résumé

Hotspot en matière de biodiversité, avec un taux d'endémisme de plus de 80 % pour sa flore, Madagascar possède plus de 4000 espèces ligneuses. Malheureusement, ces richesses subissent des fortes contraintes en raison du rythme alarmant de la déforestation ces dernières années. Plus de 1,2 millions d'hectares de forêts ont été perdus en quinze ans à Madagascar. Un moyen pour contribuer à limiter la déforestation consiste en l'utilisation rationnelle et durable des ressources forestières.

Cette étude a pour objectif de valoriser les résultats de recherche en sciences du bois antérieures qui portent sur 187 espèces malgaches. Il s'agit donc spécifiquement de : (1) déterminer les essences de bois les plus communément disponibles sur le marché et utilisées par les entreprises de transformation du bois dans la capitale Antananarivo ; (2) proposer une classification multicritère des essences de bois malgaches ; (3) proposer des espèces alternatives aux bois précieux en voie de raréfaction.

Pour ce faire, des enquêtes auprès de 60 entreprises du bois de la capitale ont été menées. Les propriétés des essences utilisées actuellement par les entreprises ont été comparées avec les propriétés des espèces disponibles dans la littérature. Des analyses en composantes principales et des classifications ascendantes hiérarchiques ont été effectuées sur la base des propriétés des 187 espèces de base de données.

Les essences ont été regroupées en 3 classes pour chacune des 10 propriétés technologiques considérées. Les essences du marché y sont bien réparties. L'analyse de leurs propriétés a permis de suggérer plus de 20 essences de bois qui peuvent potentiellement se substituer ou compléter celles qui sont déjà sur le marché. La disponibilité et le comportement sylvicole de ces nouvelles essences restent encore à déterminer avant leur vulgarisation sur le marché.

Mots-clés : Antananarivo, bois autochtones, propriétés, classification

A19

Analyse à haute résolution spatiale et temporelle des activités humaines à l'Holocène récent dans les forêts humides d'Afrique Centrale

MORIN-RIVAT Julie^{1,2}, GOREL Anaïs-Pasiphaé¹, BIWOLÉ Achille¹,
GILLET Jean-François¹, BOURLAND Nils², FAYOLLE Adeline¹, DAÏNOU Kasso¹,
VLEMINCKX Jason³, HARDY Olivier³, BEECKMAN Hans², DOUCET Jean-Louis¹

¹Univ. Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Département BIOSE, Laboratoire de Foresterie des Régions Tropicales et Subtropicales, 5030 Gembloux, Belgique

²Service de Biologie du Bois, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique et Département BIOSE, Université de Liège-Gembloux Agro Bio-Tech, Gembloux, Belgique

³Univ. Libre de Bruxelles, Evolutionary Biology and Ecology, 1050 Bruxelles, Belgique

jmorin@doct.ulg.ac.be

Résumé

Des études paléoécologiques et archéologiques ont démontré que les populations humaines ont de longue date investi les forêts humides d'Afrique Centrale. Les occupations humaines ont toutefois été peu documentées en raison de difficultés relatives à l'accès au terrain. Nous présentons ici une méthodologie systématique basée sur la quantification et la datation des macrorestes botaniques carbonisés pour définir les activités humaines passées en forêt tropicale africaine. Pour cela, 53 sondages équidistants ont été creusés dans 3 sites du sud-est-du Cameroun. Dans chaque sondage ont été prélevées des quantités fixes de sol par couche de 10 cm. Les macrorestes botaniques carbonisés ont été récoltés par tamisage à l'eau directement sur le site. Les refus de tamis ont été triés (charbons de bois, endocarpes de palmier à huile, graines non identifiées), pesés sur une balance de précision et analysés statistiquement. En outre, 25 échantillons ont été datés par AMS. Les résultats montrent que les activités humaines sont réparties en deux périodes : l'âge du Fer ancien entre 2300 et 1300 BP et l'âge du Fer récent entre 670 BP et l'actuel. En outre, les charbons de bois et les endocarpes de palmier à huile ne représentent pas le même type d'activités. Deux villages âge du Fer ancien datés d'environ 2000 BP ont été identifiés par la présence concomitante d'endocarpes de palmier à huile et de tessons céramiques. Les motifs circulaires imprimés dans la céramique et inédits pour la zone d'étude rappellent les gravures et décors céramiques découverts au Gabon et dans la zone de la Sangha-Likwala-aux-Herbes, datés également de 2000 BP. L'abondance décroissante des charbons dans l'orbite d'influence de ces villages pourrait correspondre à d'anciennes zones agricoles. Les perturbations les plus récentes peuvent, quant à elles, être mises en relation avec la végétation actuelle, en particulier les arbres émergents héliophiles qui dominent la composition floristique et qui sont des recrues post-culturelles. Pour la première fois, une méthodologie quantitative basée sur les restes archéobotaniques a été appliquée en Afrique Centrale. Elle nous a permis de documenter à haute résolution la répartition spatiale et temporelle des activités humaines à l'échelle locale. Ce travail sera poursuivi par une reconstitution paléoenvironnementale à partir de l'identification des macrorestes végétaux.

A20

Influence de la vitesse de croissance et de la nature du bois sur les propriétés mécaniques structurales de sciages de douglas wallon (Belgique)HENIN Jean-Marc¹, HEBERT Jacques², JOUREZ Benoit¹¹ Laboratoire de Technologie du Bois, Service public de Wallonie, Gembloux, Belgique² Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgiquejeanmarc.henin@spw.wallonie.be**Objectifs**

L'excellente réputation du douglas en tant que bois de structure a pour origine les propriétés très avantageuses offertes par les « Oregon Pines » pluriséculaires exploités autrefois dans les forêts nord-américaines. Cependant, même au sein de l'aire d'origine de l'essence, l'écroulement des forêts primaires et le rajeunissement des massifs ont amené les sylviculteurs et utilisateurs de douglas à se questionner sur les propriétés de la ressource exploitée de nos jours (Abdel-Gadir & Krahmer, 1993; Busing & Garman, 2002).

Il n'est dès lors pas étonnant qu'en Europe, région où l'essor du douglas est relativement récent, les gestionnaires forestiers ne cernent que de manière imparfaite l'impact des pratiques sylvicoles sur les propriétés de la ressource produite. Or, dans le contexte actuel où le *Règlement Produits de Construction* 305/2011 impose un classement des bois de structure sur base de leurs propriétés mécaniques, il convient d'identifier les facteurs qui sous-tendent les propriétés des sciages de douglas afin de garantir l'adéquation de la ressource à ces nouvelles exigences.

En conséquence, compte tenu de l'impact avéré de la sylviculture sur les propriétés mécaniques d'éprouvettes sans défaut (Pollet et al., 2013) et sur la branchaison du douglas (Biggs et al., 2007), il a été décidé d'analyser l'impact de la vitesse de croissance des arbres sur les propriétés mécaniques des sciages produits.

Matériel et méthodes

Onze peuplements équiennes âgés de 41 à 69 ans, de circonférence moyenne à 1,5 m de 150 cm et présentant des vitesses de croissance contrastées (accroissement moyen en circonférence des peuplements de 2,2 à 3,8 cm/an) ont été sélectionnés en Région wallonne (sud de la Belgique). Au sein de chacun d'eux, trois arbres de 40, 46 et 52cm de diamètre à hauteur de poitrine ont été abattus : la largeur moyenne des cernes de croissance annuelle des 33 arbres (LMC_{arbre}) s'échelonne ainsi de 3mm à 6,3mm. Dans le plateau central de deux billons prélevés entre 2 et 4m ainsi qu'entre 6 et 8m de hauteur, un total de 397 bastaings de 38X100mm² de section ont été débités.

L'impact de la vitesse de croissance a été évalué en calculant les valeurs moyennes du module d'élasticité ($E_{0,\text{mean}}$) et les valeurs caractéristiques (percentile 5%) de la contrainte de rupture en flexion statique ($f_{m,k}$) de sous-populations de bastaings définies sur base de la LMC_{arbre} . L'étude a été réalisée dans le respect des normes EN 384, EN 338 et EN 408.

Résultats et discussion

Il apparaît à la Fig. 1 que les 7 premières classes de vitesse de croissance définies ($LMC_{\text{arbre}} < 6\text{mm}$) présentent une valeur moyenne de E supérieure à la valeur de référence de 9000MPa requise pour le classement de sciages en C18. En ce qui concerne $f_{m,k}$, il ressort que les sous-populations de bastaings issues d'arbres dont la $LMC > 4,5\text{mm}$ ne garantissent pas toutes une valeur supérieure ou égale à 18MPa.

Sur base de $E_{0,\text{mean}}$ et de $f_{m,k}$, tous les sciages issus d'arbres ayant une $LMC < 4,5\text{mm}$ pourraient donc théoriquement être classés en C18, tandis que ceux issus d'arbres à croissance plus rapide doivent

faire l'objet d'un classement individuel car ils ne présentent pas de garanties suffisantes quant à leurs propriétés mécaniques.

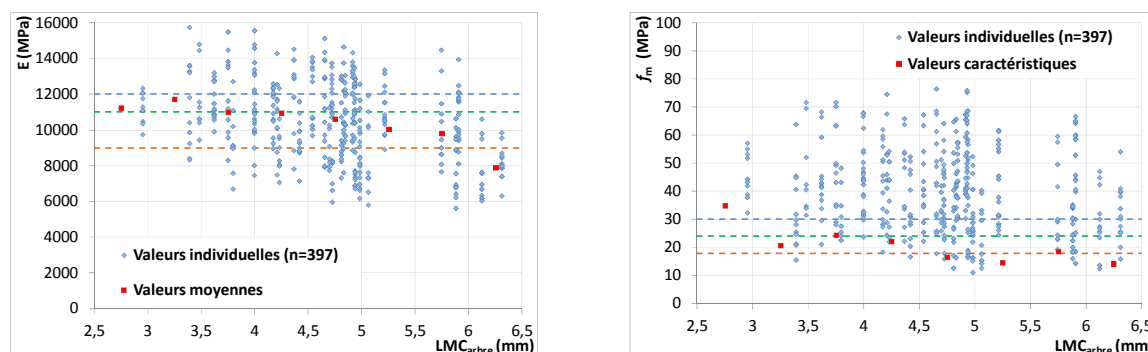


Fig. 1 : Module d'élasticité (à gauche) et contrainte de rupture (à droite) des 397 bastaings étudiés. Les valeurs moyennes et caractéristiques ont été calculées sur 8 sous-populations définies sur base de la LMC_{arbre} (les limites de classe sont indiquées sur l'axe des abscisses). Les traits pointillés correspondent aux valeurs moyennes (pour E) et caractéristiques (pour f_m) requises pour permettre le classement de lots de sciages en C18, C24 ou C30.

Afin d'affiner l'analyse et eu égard aux propriétés désavantageuses du bois juvénile, il a été décidé de réaliser une évaluation similaire à celle décrite ci-avant, en ne prenant en compte que les sciages constitués de cernes dont l'âge cambial est supérieur à 15 ans (âge considéré comme celui de la transition entre le bois juvénile et le bois mature).

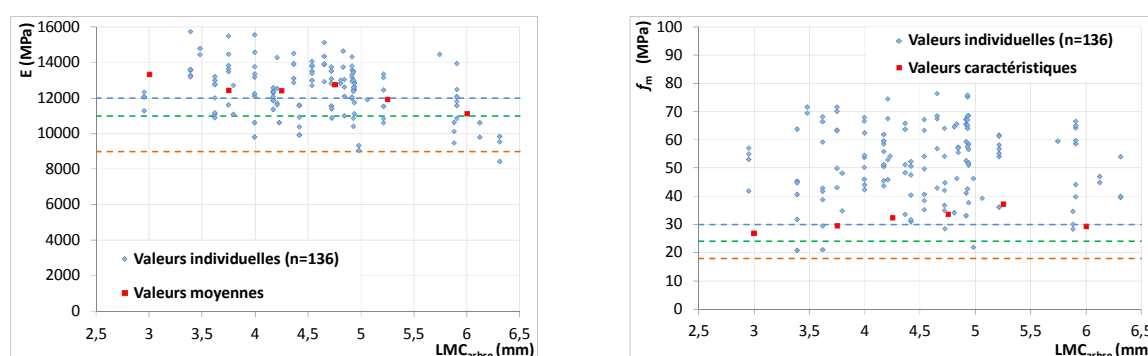


Fig. 2 : Module d'élasticité (à gauche) et contrainte de rupture (à droite) des 136 bastaings prélevés dans le bois adulte (âge cambial > 15 ans). Les valeurs moyennes et caractéristiques ont été calculées sur 6 sous-populations définies sur base de la LMC_{arbre} (par rapport à la Fig. 1, les deux classes de LMC_{arbre} les plus faibles et les deux classes les plus élevées ont été fusionnées). Les traits pointillés correspondent aux valeurs moyennes (pour E) et caractéristiques (pour f_m) requises pour permettre le classement de lots de sciages en C18, C24 ou C30.

La Fig. 2 montre que, quelle que soit la vitesse de croissance des arbres dont ils proviennent (dans la gamme de LMC_{arbre} testée), les sciages prélevés dans le bois adulte présentent des propriétés mécaniques qui permettraient de classer toute la production en C24.

Dans un contexte de tendance à la dynamisation de la sylviculture du douglas wallon, ces résultats sont rassurants et montrent que seul le bois juvénile (dont il importe dès lors de limiter la croissance) peut compromettre les potentialités d'utilisation du douglas en structure.

Références

- Abdel-Gadir A.Y., Krahmer R.L., 1993. Estimating the age of demarcation of juvenile and mature wood in Douglas-fir. *Wood and Fiber Science* 25(3) : 242-249.
- Briggs D., Ingaramo L., Turnblom E., 2007. Number and diameter of breast-height region branches in a Douglas-fir spacing trial and linkage to log quality. *For. Prod. J.*, 57: 28-34.
- Busing R.T., Garman S.L., 2002. Promoting old-growth characteristics and long-term wood production in Douglas-fir forests. *Forest Ecology and Management* 160: 161-175.
- Pollet C., Henin J.-M, Hébert J., Jourez B., 2013. Impact of growth rate on the mechanical properties of Douglas-fir grown in Wallonia (Southern Belgium). Colloque IUFRO WP 5.01-04 MeMoWood, Nancy, France, 2-4 octobre 2013.

A21

Influence de la vitesse de croissance sur le classement en lames de bardage de Douglas wallon (Belgique)POLLET Caroline¹, HENIN Jean-Marc², HEBERT Jacques¹, JOUREZ Benoit²¹Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique²Laboratoire de Technologie du Bois, Service public de Wallonie, Gembloux, Belgiquecaroline.pollet@guest.ulg.ac.be**Objectifs**

En Europe, le bois de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) est très généralement utilisé en structure du fait de ses propriétés mécaniques avantageuses. Cependant, cette essence offre des caractéristiques permettant d'envisager d'autres voies de valorisation telles que le platelage ou encore le bardage.

D'autre part, en raison de son caractère exotique et de son essor relativement récent sur notre continent, les gestionnaires forestiers sont parfois dans l'expectative en ce qui concerne le dynamisme de la sylviculture qui peut être appliquée aux douglasaies. Le potentiel de production élevé de l'essence incite en effet certains propriétaires à dynamiser davantage sa sylviculture, en diminuant les densités de plantations et en réalisant des éclaircies plus précoces et/ou plus fortes. Dans le cadre d'une étude entreprise en Wallonie sur la relation entre la sylviculture et la qualité du bois de Douglas, il a notamment été montré que la durabilité naturelle de ce dernier était peu sensible à la vitesse de croissance des arbres (Pollet *et al.*, 2013). Les bardages étant généralement exposés aux intempéries, ces résultats sont encourageants pour cette utilisation.

Dans ce contexte, l'influence de la vitesse de croissance sur le classement qualitatif en lames de bardages a été évaluée.

Matériel et méthodes

Onze peuplements âgés de 41 à 69 ans, de circonférence moyenne à 1,5 m de 150 cm et présentant des vitesses de croissance contrastées (accroissement moyen en circonférence des peuplements de 2,2 à 3,8 cm/an) ont été sélectionnés en Région wallonne (sud de la Belgique). Au sein de chacun d'eux, trois arbres de 135, 155 et 175 cm de circonférence ont été abattus : la largeur moyenne des cernes de croissance annuelle de ces 33 arbres s'échelonne ainsi de 3mm à plus de 7mm.

Au total, environ 1400 lames de bardage de 20x140mm² de section ont été débitées dans deux billons de 3,6 m de longueur situés entre 2 et 10 m de hauteur dans les 33 arbres.

Les lames ont ensuite été classées visuellement suivant la norme NBN EN 14519(2006), qui définit deux classes de qualité décroissante A et B, sur base des singularités relevées telles que notamment les nœuds, les fentes ou la présence de flaches. Une classe supplémentaire (nommée classe « Top »), de qualité supérieure aux classes A et B, a été créée en vue d'évaluer les potentialités d'accès de la ressource wallonne aux usages en bardage les plus valorisants. La qualité des lames de bardage de cette classe supérieure est comparable à celle du Western Red Cedar (*Thuja plicata*), à ceci près qu'elles peuvent présenter des nœuds inférieurs à 25 mm de diamètre.

Résultats et discussion

Les résultats sont globalement très positifs : environ 80% des lames peuvent être valorisées en bardage. Cependant moins de 10% des lames sont affectées à la classe de qualité supérieure. Il apparaît que les nœuds, et plus précisément les nœuds sautant, sont la principale cause de déclasserement des lames (rebut). La proportion de lames affectées aux différentes classes de qualité varie en fonction de la vitesse de croissance (Fig. 1). La proportion de lames déclassées (rebut) augmente avec la vitesse de croissance, atteignant 25% pour les pièces issues d'arbres ayant une largeur moyenne de cerne (LMC) supérieure à 5,5 mm. Cette augmentation du rebut s'explique principalement par l'augmentation de la proportion de lames présentant des nœuds sautant d'un

diamètre supérieur à 25 mm, cette dernière pouvant vraisemblablement être attribuée à l'augmentation du diamètre moyen des branches avec le dynamisme de la sylviculture, ainsi que signalé par Briggs *et al.* (2007). Afin de diminuer la fréquence de ces nœuds sautant, il apparaît essentiel de pratiquer un élagage des branches mortes le plus tôt possible, mais aussi d'effectuer un élagage sur les branches vivantes. La pratique d'un élagage permettra de pallier, dans une certaine mesure, la forte branchaison qui caractérise les bois présentant des vitesses de croissance relativement élevées (LMC supérieures à 5,5 mm). Il reste cependant à vérifier que dans ce cas, la plus-value apportée par un élagage peut compenser la perte de qualité engendrée par l'augmentation de la taille des nœuds au-delà de la partie élaguée.

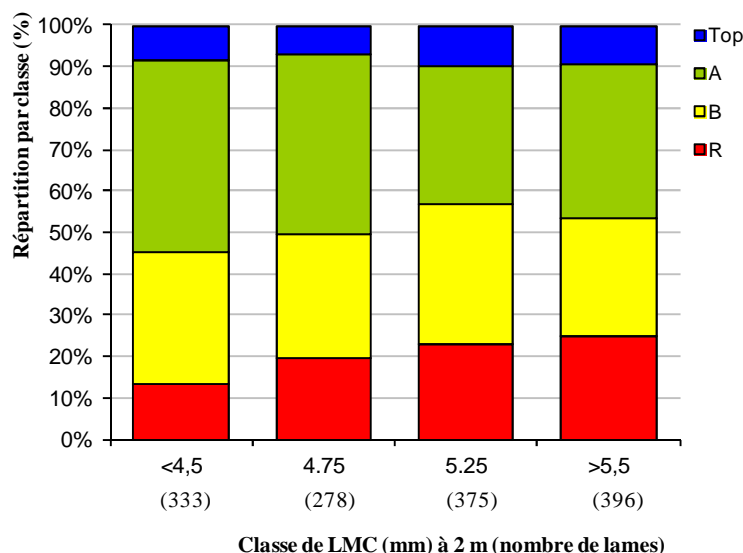


Fig. 1 : Proportion de lames de bardage affectée à chaque classe de qualité (R=rebut), sur base d'un classement adapté de la norme NBN EN 14519 et en fonction de la classe de largeur moyenne de cerne (LMC en mm) à 2 m de l'arbre dont les débits proviennent

Références

- Briggs D., Ingaramo L., Turnblom E., 2007. Number and diameter of breast-height region branches in a Douglas-fir spacing trial and linkage to log quality. *For. Prod. J.* 57(9): 28-34.
- NBN- EN 14519, 2006. Lambris et bardages en bois massif résineux – Profilés usinés avec rainure et languette. Bruxelles, Institut belge de normalisation, 18p.
- Pollet C., Henin J.M., Hébert J., Jourez B., 2013. Effect of growth rate on the natural durability of Douglas-fir in western Europe. *Revue canadienne de recherche forestière* 43(10): 891-896.

A22

A la découverte de l'anatomie du bois dans le laboratoire de l'Ecole Supérieure du Bois (ESB) à Nantes

CORBINEAU Paul¹, MACCHIONI Nicola², MICHAUD Franck³, SAEDLOU Nima⁴

¹Sculpteur, expert en bois

²IVALSA - ESB

³ESB

⁴Intervenante à l'ESB – XYLOTREE

franck.michaud@ecoledubois.fr

Résumé

Depuis sa fondation, l'école supérieure du bois (ESB) a rassemblé une grande quantité d'échantillons de bois provenant de toutes les parties du monde (actuellement 800 essences).

En 2013 l'école a décidé de réorganiser son laboratoire d'anatomie du bois afin d'améliorer son enseignement avec le soutien de Paul Corbineau. La rénovation du laboratoire d'anatomie a fait l'objet d'une réflexion collective afin d'en faire un outil indispensable pour la connaissance, la reconnaissance et l'identification des bois.

La pertinence de la nouvelle classification « Phylogénétique » (APGIII)

La réorganisation de la xylothèque est basée par un classement des familles suivant la nouvelle classification phylogénétique. Dans le bois, de nombreux caractères sont stables sous le contrôle génétique, c'est-à-dire, indépendamment des conditions environnementales.

La mise en valeur du bois pour le rendre visible

Les échantillons ont été préparés suivant les trois plans d'étude du bois (transversal, tangentiel et radial) pour être observés en macroscopie, à l'oeil nu, à la loupe (aux grossissements de x4 et x10), et à la loupe binoculaire (x20). Les échantillons rabotés ont été poncés malgré un risque d'empoussièrement à un grain très fin (600) sur l'une des coupes transversales pour dévoiler le plan ligneux. L'autre face transversale peut être rafraîchie à volonté à la lame de rasoir (bien qu'il y ait un risque de déchirure des cellules les plus tendres, notamment le parenchyme) pour raviver les propriétés organoleptiques (couleur, odeur, goût...) et observer les cavités (fibres trachéides, vaisseaux...)

Après réflexion, deux formats d'échantillons ont été préparés par les étudiants pour établir une double xylothèque :

- Grands formats (160x80x20mm) permettent une reconnaissance macroscopique aisée du bois sur les plans longitudinaux (présentation sur dosse et sur quartier quand cela est possible), évaluation de la densité de l'essence.
- Petits formats (130x60x10mm) permettant un rangement optimal et une vision suffisante de la coupe transversale.

Aménagement de la xylothèque

Le classement dans la xylothèque est déterminé par un code unique pour chaque espèce identifiée par son nom commun, commercial (ATIBT), ou vernaculaire ; par son nom scientifique et sa provenance. Le code comprend le numéro de la famille, les trois premières lettres de la famille, le numéro du genre et le numéro de l'espèce. Par exemple, le chêne pédoncule (Fagaceae) : 57 FAG 5.24. La xylothèque fait aussi l'objet d'une base de données. Elle est accessible aux étudiants en présence d'un professeur.

Aménagement du Laboratoire

Trente et une essences ont été sélectionnées pour la partie pédagogique. Ces essences ont été choisies car elles correspondent aux taxons présents commercialement sur le marché :

- Vingt et une essences tempérées constituant une base de connaissance anatomique pour les étudiants,
- Dix essences tropicales permettant un approfondissement de l'identification. Le choix des essences sera amené à évoluer avec le temps.

L'espace a été aménagé sur quatre paillasse de travail délimitant spatialement quatre groupes d'essences : les conifères, les feuillus à zones poreuses, les feuillus à pores diffus, les feuillus des tropiques. Il existe, pour chacune des essences présentes dans les quatre groupes, une plaque d'identification et un présentoir comprenant :

- Quatre échantillons grands formats bruts de sciage (à la scie circulaire bien affûtée) présentant si possible les différents plans de coupe (dosse, quartier, faux-quartier),
- Un échantillon sous forme de cube avec une coupe transversale lisible de 50x50 mm qui offre une plage de vision plus large du plan transversal, la plus pertinente pour l'identification macroscopique.
- Un échantillon montrant une singularité propre à ce bois.

Avec certains cursus il est possible d'aller plus loin en intégrant l'analyse microscopique, car chaque essence présentée est observable grâce à une lame regroupant les trois plans d'étude. Des microscopes à transmission (x 100/200/400) sont disponibles.

Ce laboratoire est le lieu privilégié des cours pratiques d'anatomie du bois mais sera également proposé en libre-service sur réservation.

Conclusions

La xylothèque et le laboratoire d'anatomie de l'ESB sont devenus, grâce à la restructuration entreprise, un formidable outil pédagogique au service de la compréhension du bois. Les étudiants peuvent appréhender le matériau dans les conditions de l'entreprise (bois scié) et se rendre compte à quel point une xylothèque d'échantillons bien préparés leur serait utile tout au long de leur cursus. De leur compréhension concrète du bois et de son fonctionnement découle une meilleure assimilation de ses propriétés physiques pour une mise en œuvre. De plus, suivant l'adage "on protège mieux ce que l'on connaît" cette confrontation avec la matière fait naître chez beaucoup d'entre eux une curiosité accrue et une forme de "respect" pour le bois et l'arbre.

Mots-clefs : Anatomie, Bois, Pédagogie, Xylothèque.

A23

Produits à base de bois en fin de vie : une ressource pour l'industrie chimique

COURET Laetitia¹, BELLONCLE Christophe¹, IRLE Mark¹, CATHALA Bernard²

¹LUNAM Université, Ecole Supérieure du Bois, rue Christian Pauc, 44000 Nantes, France

²INRA, Unité BIA, Rue de la Géraudière, 44316 Nantes, France

christophe.belloncle@ecoledubois.fr

Introduction

Dix laboratoires de la région Pays de la Loire se sont regroupés au sein du programme MATIERES (MATériaux et Interfaces pour l'Environnement et l'exploitation des RESsources biologiques) dont un des objectifs est de produire de nouveaux matériaux ou synthons à partir de matériaux biosourcés n'entrant pas dans une filière économique reconnue (alimentaire, composites, énergie). Ce programme a débuté au premier semestre 2014, pour une durée de cinq ans et est financé par la région Pays de la Loire.

Contexte et axe de recherche

Dans une démarche d'éco-responsabilité et un contexte de développement durable, de nouvelles matières premières doivent se développer, comme en créant par exemple, des synthons issus de ressources renouvelables, afin d'élaborer des matériaux innovants.

Les enjeux sont ainsi de trouver de nouveaux procédés ayant un impact faible sur l'environnement, de réaliser des matériaux biosourcés innovants, mais aussi de développer des stratégies permettant le recyclage des matériaux ou l'utilisation de déchets.

Le programme MATIERES possède trois axes opérationnels (Figure 1). Le premier porte sur l'utilisation de matières premières issues de filières de recyclage (élastomère, bois de construction ou d'ameublement) afin d'obtenir de nouveaux matériaux ou fractions pouvant entrer dans la fabrication de matériaux. L'Ecole Supérieure du Bois et le laboratoire Biopolymères, Interactions et Assemblages (BIA) de l'INRA sont impliqués dans cet axe.

Le second porte sur la réalisation de matériaux à base d'élastomères ou de structures issues des parois végétales, qui pourront être obtenues à partir des recyclages réalisés dans l'axe 1. Enfin, l'axe 3 porte sur la réalisation de matériaux ou de dispositifs pouvant être intégrés dans des capteurs dédiés au suivi des polluants contenus dans les déchets industriels d'origine biosourcée.



Fig. 1 : Représentation des trois axes interconnectés du programme régional MATIERES

Ressources potentielles : Les produits à base de bois récupérés en fin de vie (Figure 2) représentent une ressource importante, dont une partie est peu valorisée. Deux spécificités limitent un recyclage optimal : la présence de différents contaminants chimiques de type insecticides ou métaux lourds (Irle 2003), ou la constitution même des matériaux (colle et cire) (Belloncle 2009).

Ces produits en fin de vie sont issus d'une part de déchet de la construction (menuiserie, bois de charpente, bois d'extérieur) et d'autre part, des produits reconstitués broyés (isolant fibreux, panneaux de fibres à densité moyenne (MDF)). Selon l'European Panel Federation, il y a eu en 2011 une production européenne totale de plus de 45 millions de m³ de panneau de bois, dont 11,5 millions de m³ de MDF. Or selon l'ADEME, il n'y a actuellement « pas de réelle valorisation de panneaux de fibres MDF ».

La problématique actuelle est l'augmentation de la part de ces déchets (Figure 3).



Fig. 2 : Produits issus du bois en fin de vie

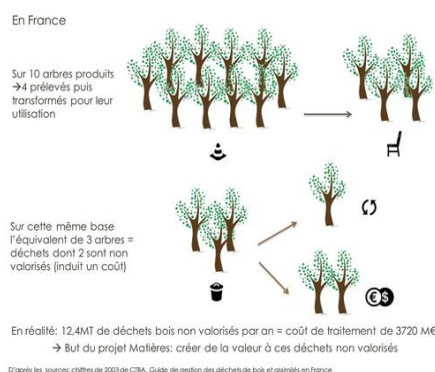


Fig. 3 : Statistiques sur la production de déchets bois

Stratégie de recherche

La première tâche de ce projet est de mettre en place l'étude du fractionnement chimique et enzymatique de cette ressource.

Le fractionnement chimique est relativement bien documenté sur des ressources lignocellulosiques vierges de type fibre ou paille par exemple. L'impact des contaminants (colle par exemple) est cependant peu documenté.

Un protocole expérimental sera mis en place, incluant dans l'étude, des fibres de bois avant collage, des panneaux obtenus, et des panneaux issus de recyclage. Le fractionnement chimique puis enzymatique permettra l'obtention successive des structures chimiques différentes. La composition biochimique des fractions sera ensuite déterminée et leurs propriétés physico-chimiques évaluées.

Une des applications potentielles suite à la transformation/fractionnement de déchets bois pourrait être, par exemple, la production de nanocristaux de cellulose entrant dans la réalisation de matériaux agrosourcés (Capron 2011; Cerclier 2011).

Références

- Belloncle C., Guezguez B. and Irle M. (2009). Reduction of Formaldehyde emission from particle board panels: evidence for a threshold effect due to remaining UF resin. In proceedings: International Conference on Wood Adhesives, Lake Tahoe, Nevada.
- Cerclier C., Lack-Guyomard A., Moreau C., Cousin F., Beury N., Bonnin E., Jean B., Cathala B. (2011). Coloured Semi-reflective Thin Films for Biomass-hydrolyzing Enzyme Detection. *Advanced Materials*, 23, 3791–3795.
- Irle M., Fru C., Maher K. and Ormondroyd G. (2003). The Measurement of Contaminants in Recycled Wood and Products Made From Recycled Wood. In Proceedings of the Seventh European Panel Products Symposium, Llandudno.
- Kalashnikova I., Bizot H., Cathala B., Capron I. (2011). New Pickering Emulsions Stabilized by Bacterial Cellulose Nanocrystals (BCN). *Langmuir*, 27, 7471–7479.

Mots-clés : bioressources, bois, matériaux, recyclage, valorisation.

A24

Sécurité alimentaire : Etude de la migration des composés organiques émis par le Peuplier lors d'un contact avec un aliment

LUDOSKY Daliéna^{1,2,3}, FRICOTEAUX Florence¹, IRLE Mark², COPINET Alain¹

¹Grespi/ESIReims-3 Esplanade Roland Garros-51100 Reims, France

²Groupe ESB-Atlantpôle, BP10605, Rue Christian Pauc, 44306 Nantes cedex3, France

³S.I.E.L-6 Rue François 1er, 75008 Paris, France

daliena.ludosky@ecoledubois.fr

Résumé

Le Peuplier est l'une des deux espèces les plus utilisées dans la fabrication des emballages légers en bois (cagettes, barquettes,...). Ces emballages sont très répandus dans le conditionnement des fruits et légumes (frais ou secs), des produits de la mer, des fromages... (Twede et Selke 2005). En absence de réglementation spécifique sur le matériau bois en contact avec un aliment depuis novembre 1945, l'un des objectifs du consortium Français Emabois est de développer des méthodes d'analyse des composés organiques émis par le matériau bois lors d'un contact alimentaire, afin de comprendre les interactions mises en jeu.

Pour réaliser l'extraction des composés organiques du Peuplier et mieux comprendre les facteurs influençant la migration contenant/contenu pour les emballages bois au contact alimentaire, différents simulants liquides (eau distillée, éthanol...) ou sec (Tenax) ont été choisis en fonction de la nature des aliments (aqueux, gras, sec..) à simuler. Ainsi plusieurs paramètres ont été étudiés, la zone de prélèvement (aubier/ duramen), la nature de l'aliment (sec, aqueux ou gras), le temps et la température de contact. Les premiers résultats obtenus, nous permettent d'avoir des informations aussi bien qualitatives que quantitatives sur les molécules migrantes et les facteurs influençant leur migration, éléments nécessaires à la mise à jour de la fiche « matériau bois n°2012-93 ».

Références bibliographiques

Twede D, Selke S. (2005) Handbooks of Paper and Wood Packaging Technology. Edition DEStech Publication Inc. 526 pages.
www.emballage-leger-bois.fr

Mots-clés : Bois, Emballage, Migration, Sécurité alimentaire.

A25

Méthodes d'extraction des micro-organismes à partir de surfaces d'emballages en bois, utilisées dans les industries agro-alimentaires

Rached ISMAÏL^{1,2}, Isabelle LE BAYON³, Valérie MICHEL⁴, Marc JEQUEL³,
Florence AVIAT^{1,2}, Magdalena KUTNIK³, Michel FEDERIGHI^{1,2}

¹LUNAM, Oniris, Secalim, route de Gachet, CS 40706, 44307 Nantes, France

²INRA, UMR1014 SECALIM, 44307 Nantes, France

³Institut technologique FCBA, allée de Boutaut, BP 227, 33028 Bordeaux cedex, France

⁴ACTALIA produits laitiers, 419 route des champs laitiers,
CS50030, 74801 La Roche sur Foron, France

rached.ismail@oniris-nantes.fr

Résumé

De nos jours, des matériaux de surface aussi variés que le plastique, l'inox, le verre et le bois sont utilisés dans l'industrie agro-alimentaire. Ces surfaces peuvent faire l'objet de contamination par des micro-organismes responsables de contaminations croisées des denrées. En tant que matériau au contact des aliments, le bois est soumis à la réglementation européenne par le RCE n°1935/2004 énonçant le principe d'inertie des matériaux au contact alimentaire. A ce jour, il n'existe pas de méthode standard de récupération des micro-organismes à partir de surfaces en bois susceptibles d'entrer en contact direct avec les aliments. En effet, cette méthode pourrait permettre de déterminer la charge microbienne de ces surfaces en industries agro-alimentaires.

Afin d'élucider une ou des méthode(s), nous proposons donc de comparer trois méthodes existantes de récupération des micro-organismes à partir de surfaces en bois. Trois modèles microbiens connus comme risques dans les filières agro-alimentaires ont été choisis:

- *Escherichia coli*, une bactérie Gram négatif, est souvent utilisée comme indicateur des bonnes pratiques d'hygiène dans de nombreuses entreprises. De plus, certains sérotypes d'*E. coli* sont hautement pathogènes pour l'être humain. Beuchat (2002)

- *Listeria monocytogenes*, une bactérie Gram positif, est omniprésente dans l'environnement et impliquée dans de sévères cas d'intoxications alimentaires par ingestion d'aliments contaminés tels que produits laitiers, produits carnés, légumes,... Kang et al. (2007)

-et *Penicillium expansum*, une moisissure, identifiée comme flore d'altération dans la filière fruits. Ikeura et al. (2011)

Ces micro-organismes ont été inoculés à différentes concentrations. Les tests ont été réalisés sur trois essences de bois : le peuplier (*Populus euramericana*), le pin maritime (*Pinus pinaster*) et l'épicéa (*Picea abies*). Ces essences sont, en effet, communément utilisées en Europe dans la fabrication d'emballages et de surfaces de travail en bois pour l'industrie agro-alimentaire. Les échantillons ont été testés à deux humidités respectivement « sèche » et « humide ».

Ainsi, nous avons identifié les facteurs ayant une influence sur les rendements de récupération des micro-organismes et déterminé ceux dont l'influence est importante comme le taux d'humidité du bois, le temps de contact avec l'inoculum et les essences de bois. La ou les technique(s) de récupération des micro-organismes la ou les plus efficace(s) pourrai(en)t servir de base au développement de normes spécifiques concernant l'innocuité des emballages légers et des surfaces de travail en bois au contact des aliments.

Références

Beuchat LR (2002) Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables, *Microbes and Infection* 4 (4):413-423.

Ikeura H, Somsak N, Kobayashi F, Kanlayanarat S, Hayata Y (2011) Application of selected plant extracts to inhibit growth of *Penicillium expansum* on apple fruits, Plant Pathology Journal 10 (2).
Kang D, Eifert J, Williams R, Pao S (2007) Evaluation of quantitative recovery methods for *Listeria monocytogenes* applied to stainless steel, Journal of AOAC International 90 (3):810-817.

A26

Wood Comfort : Analyse du bien-être généré par le bois utilisé dans l'ameublement et la construction

ZANETTI Michela¹, DEMATTÈ M. Luisa^{1,2}, ZUCCO Gesualdo², RONCATO Sergio², DERUTO Viviana³, FONGARO Giovanna⁴, GATTO Paola¹, CAVALLI Raffaele¹

¹Dipartimento TESAF, Università di Padova

²Dipartimento di Psicologia Generale, Università di Padova

³Studio VD bioarchdesign, La Spezia

⁴FBE Woodliving, Malo

michela.zanetti@unipd.it

Introduction

La présence du matériau bois sous forme de poutres, parois, parquet ou meubles dans un espace est perçue par la plupart des personnes comme agréable, chaude et confortable (Rice et al 2006). L'objectif de ce projet de recherche est d'étudier les mécanismes psychiques qui génèrent le sentiment de bien-être ressenti par l'individu dans un espace où la composant bois est important vis à vis des autres matériaux présents. Jusqu'à maintenant le confort a été principalement évalué en termes physiques : température, humidité, luminosité (EN ISO 28802 : 2012 ; Wastiels et al 2011), sans compter les aspects psychiques de l'interaction de l'homme avec l'environnement, l'espace dans lequel il vit. Du point de vue psychologique, le confort est souvent identifié avec le terme générique «bien-être» («*well-being*») et il s'agit d'un paramètre difficile à mesurer à cause de l'absence d'une définition universellement acceptée (Nyrud et Bringslimark 2010). Une des limites des études conduites dans l'évaluation du bien-être lié au matériau bois réside dans la méthodologie d'analyse qui utilise des photographies pour évaluer le confort (Sakuragawa 2006). Si d'une coté cette méthode permet de bien contrôler les conditions expérimentales, de l'autre elle manque du réalisme que seulement une expérience dans un espace tridimensionnelle peut assurer. Compte tenu de cet aspect, la méthodologie de ce projet a été développée de façon à évaluer l'expérience de bien-être d'un échantillon d'individu dans des espaces fabriqués à l'aide de différents matériaux et obtenir ainsi des informations (résultats) sur le bien-être perçu.

Méthodologie**Participants**

L'étude fait référence à un échantillon d'environ 80 individus d'âge compris entre 18 et 75 ans (les genres seront répartis de manière équitable). Le groupe sera reparti en quatre sous-échantillons : 18-30 ans, 31-45 ans, 46-60 ans et >60 ans. Chaque sous-échantillon comptera environ 20 individus. Les participants seront informés et sélectionnés avec des e-mails envoyés au personnel de l'Université de Padoue et avec la distribution de brochures.

Matériel

Les mesures du bien-être auront lieu dans deux espaces ayant les mêmes dimensions (~102 m³) et caractéristiques physiques (température, humidité et luminosité). Le premier espace est construit en béton (non-W), le deuxième en bois (W). Les individus sélectionnés devront répondre questionnaires suivants: (1) *Positive and Negative Affect Schedule* (Terracciano et al 2003) qui permet d'évaluer l'état émotionnel des individus et l'éventuelle modification après l'expérience dans l'environnement; (2) questionnaire contenant des échelles sémantiques bipolaires pour l'évaluation des aspects cognitifs et perceptifs liés à l'environnement ; (3) *Nature Relatedness Scale* (Nisbet et al 2008) pour évaluer l'attitude des individus vis à vis de la nature ; (4) questionnaire

général pour la récolte d'informations démographiques (par ex. âge) et personnelles nécessaires à l'élaboration des données.

Méthode de collecte des données

Chaque participant devra rester environ 20 minutes dans les deux espaces et évaluer à l'aide des questionnaires leur expérience à niveau émotionnel et perceptif.

Conclusions

Les données récoltées par le biais des questionnaires nous donneront des indications sur les mécanismes psychiques qui sont à la base du bien-être générée par le matériau bois. Les informations obtenues nous permettront de caractériser les personnes impliquées dans l'étude afin de comprendre les différences individuelles qui influencent la perception des matériaux. Enfin, les résultats obtenus, outre à promouvoir le matériau bois, seront utilisés pour le développement d'études basées sur l'expérience environnemental tridimensionnelle.

Références

- Nisbet E.K., Zelenski, J.M., Murphy, S.A. (2008) The Nature Relatedness Scale: linking individuals' connection with nature to environmental concern and behavior, *Environment and Behavior*, 41:715–740.
- Nyrud A.Q., Bringslimark T. (2010) Is interior wood use psychologically beneficial? A review of psychological responses toward wood, *Wood and Fiber Science*, 42:202–218.
- Rice J., Kozak A.R., Meitner J.M. (2006) Appearance wood products and psychological well-being, *Wood and Fiber Science*, 38:644–659.
- Sakuragawa S. (2006) Change in the impression of rooms with interior wood finishes arranged differently: questionnaire survey with the use of photographs for the analysis of impressions of rooms concerning living activities, *Journal of Wood Science*, 52:290–294.
- Terracciano A., McCrae R.R., Costa, P.T. (2003) Factorial and construct validity of the Italian Positive and Negative Affect Schedule (PANAS), *European Journal of Psychological Assessment*, 19:131–141.
- Wastiels L., Schifferstein H.N.J., Heylighen A., Wouters I. (2012) Relating material experience to technical parameters: a case study on visual and tactile warmth perception of indoor wall materials, *Building and Environment*, 49:359–367.

A27

Caractérisation des bois utilisés dans la fabrication de quatre xylophones africains à résonateurs

WARNEKE Nikolaus¹, HOUSSAY Anne², MORIN-RIVAT Julie³,
VILLAERT Saskia Villaert⁴

¹Facteur de xylophones – chercheur indépendant

²Laboratoire de recherche et de restauration du Musée de la musique, Laboratoire Identités,
Cultures Territoires à Paris 7- Diderot

³Musée de Tervuren, Université de Liège,
Gestion des ressources forestières et des milieux naturels

⁴Conservateur au Musée des Instruments de musique de Bruxelles
nikolaus.warneke@gmail.com

Résumé

Les identifications des bois restant plutôt approximatives dans la littérature sur ces instruments, une recherche est lancée sur l'identification des bois de lames de xylophones à résonateurs africains, sur la base de l'anatomie du bois et de l'analyse des caractères anatomiques du bois. Nikolaus a proposé de travailler quatre lames de sa collection à cause de la meilleure accessibilité de ces objets pour le début du projet.

Le laboratoire du Musée de la musique souhaitant, travailler en réseau sur les collections et mettre au point des méthodologies pour des analyse non-destructive d'objets en bois du patrimoine culturel, plus particulièrement pour identifier les bois de parties d'instruments de musique à un microscope permettant de travailler directement sur des objets.

Prise de photo à trois grossissements (5x ; 10x, 20x) selon les trois plans anatomiques du bois des lames provenant des xylophones suivants (© collection Nikolaus Warneke) :

1. Kundu, Sara Nar, Tchad
2. Nan, Tusia, Burkina Faso
3. Madimba, Pende / Kwese, RDC
4. Tsinza, Bura / Tera, Nigeria

Mise au point d'une méthodologie qui permet de prendre des images des xylophones aux différents musées / endroits.

Conclusions

1. Difficulté de voir l'anatomie de la vue transversale, en bois debout, sur les objets qui ont subi des traitements qui bouchent les pores. Dans les plans longitudinaux et radiaux, en revanche, il est souvent possible de discerner l'anatomie, et la vue à x20 est particulièrement parlante.
2. Croiser ces données avec des identifications antérieures effectuées par des expertises de visu macroscopiques apporte dans certains cas des remises en question (exemple à compléter), mais parfois des confirmations au niveau de la famille, mais sans la transversale il n'est pas possible d'identifier l'espèce avec certitude. il arrive également de ne pas avoir assez d'éléments pour conclure quoi que ce soit. (exemples à compléter).
3. Croiser les données avec la littérature existante et voir les contradictions / confirmations.
4. Cas où le croisement des trois types de données précise des identifications de bois qui s'arrêtaient au genre : par exemple *pterocarpus*.

5. Etude de visu, à la binoculaire, avec des photos macroscopiques, du sens de débit du bois, par rapport sens dans lequel la lame de xylophone est taillée. Repérer des caractères du bois qui ont été mis en valeur par le facteur dans la découpe, et qui pourront avoir des implications sur l'acoustique. (Il est effectivement important pour la qualité de son de l'instrument de définir l'espèce, mais aussi la condition de croissance et le débit des pièces de bois.)
6. L'identification du bois enrichit la connaissance des objets muséaux et permet d'affiner les techniques et le contexte de leur fabrication.

Références bibliographiques

Dechamps, 1973, Tervuren, Note préliminaire concernant l'identification anatomique des espèces de bois utilisées dans la fabrication des xylophones de l'Afrique centrale.

Aramaki, Baillère, Brancheriau, Kronland-Martinet, Ystad, 2007, Sound quality assessment of wood for xylophone bars, Journal of the Acoustical Society of America 121(4), pp 2407-2420, April 2007.

Brémeaud Iris, 2012, Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones; Biological and cultural biodiversity, JASA 131, p.807-818, (doi : 10.1121/1.3651233).

Mots-clés : anatomie, bois, identification, xylophones, Afrique.

B01

Effet des cernes d'accroissements sur la thermo-dégradation du bois

HAMADA Joël¹, PETRISSANS Anélie¹, MOTHE Frédéric²,
PETRISSANS Mathieu¹, GERARDIN Philippe¹

¹Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois, EA 4370-USC INRA,
Université de Lorraine, Faculté des Sciences et Technologies, BP 70239,
54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

²Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt Bois, UMR INRA-AgroParisTech 1092,
INRA Centre de Nancy Lorraine, Route d'Amance, 54280 Champenoux, France
joel.hamada@yahoo.fr

Résumé

Le traitement thermique est un procédé de préservation qui consiste à modifier chimiquement les polymères du bois sous l'effet de la chaleur rendant le matériau plus résistant aux attaques des champignons de pourriture et augmentant sa stabilité dimensionnelle tout en lui conférant une coloration brune plus ou moins foncée (Guller, 2012).

Malgré la connaissance actuelle sur les raisons de la dégradation thermique des constituants du bois (Windeisen *et al.*, 2007, Tjeerdsma *et al.*, 19998) et la multiplication des installations de traitement thermique mises en place au cours des dernières années, il existe une forte demande pour pouvoir mieux contrôler à l'échelle industrielle et certifier la qualité des produits obtenus (durabilité, stabilité dimensionnelle, couleur). Cette difficulté est souvent expliquée par l'hétérogénéité liée aux procédés industriels comme la non homogénéité au niveau des transferts de chaleur dans le four et la pile de bois ou la non homogénéité du matériau traité (humidité initiale, qualité...).

Le but de ce travail est d'étudier l'effet de la variabilité du bois notamment au niveau de l'alternance bois initial / bois final au niveau des cernes d'accroissement annuels sur la cinétique de dégradation lors du traitement thermique. Des baguettes prélevées sur des coupes transversales de deux chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) provenant de conditions sylvicoles différentes (Mothe *et al.*, 1998) ont été préalablement caractérisés par micro-tomographie pour mesurer les variations de densité en fonction des cernes d'accroissement puis des zones de bois initial et de bois final prélevées puis analysées par analyse thermogravimétrique montrant une influence directe de la variabilité du bois, le bois initial se dégradant plus vite que le bois final.

Références

Guller, B. (2012). Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. *African Journal of Biotechnology*. 11. 2204-2209.

Mothe, F., Sciama, D., Leban, J-M., Nepveu, G. (1998). Localisation de la transition bois initial - bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. *Annales des Sciences Forestières*. 55. 437-449.

Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P., Militz, H. (1998). Characterization of thermally modified wood: molecular reasons for performance improvement. *Holz als Roh und Werkstoff*. 56. 149-153.

Windeisen, E., Strobel, C., Wegener, G. (2007). Chemical changes during the production of thermo-treated beech. *Wood Science and Technology*. 41. 523-536.

Mots-clefs : ATG, bois initial, bois final, chêne, dégradation thermique, densité, micro-tomographie, traitement thermique.

B02

Elaboration de bois composite à partir de hêtre par polymérisation *in situ* de monomères issus de déchets de bois

IMBERT Aurélia¹, FREDON Emmanuel¹, DUMARÇAY Stéphane¹, BESSERER Arnaud¹,
CHAPUIS Hubert¹, GERARDIN Philippe¹, GERARDIN Christine¹

¹Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMaB),
EA 4370, USC INRA, Université de Lorraine, Faculté des Sciences et Technologies, Boulevard des
Aiguillettes, BP 70239, 54506 Vandoeuvre Les Nancy
aureliaimbert@univ-lorraine.fr

Résumé

Cette thèse s'insère dans le projet FURALOR soutenu par l'Agence de Mobilisation Economique de la Région Lorraine et qui associe le LERMaB, le CRITT Bois d'Epinal et les sociétés SEPAREX et MSL (Métallerie du Sud Lorrain). Elle s'inscrit dans le contexte général de la préservation du bois à travers des techniques innovantes comme le traitement thermique ou la modification chimique. Le sujet de recherche vise plus particulièrement l'utilisation de déchets de bois de feuillus tels que le hêtre pour produire des monomères furaniques biosourcés, ainsi que l'amélioration de la durabilité et la stabilité dimensionnelle (Esteves (2011) ; Hoyodonickx (2011) ; Lande (2008) du bois de ce même type grâce à une polymérisation *in situ* de ces monomères furaniques (furfurylation). L'ensemble des résultats issus de la thèse devrait permettre de déterminer la capacité à synthétiser de l'alcool furfurylique biosourcé à partir de xylanes extraits du bois de hêtre, ainsi que de déterminer la faisabilité de produire des bois de hêtre furfurylés en laboratoire, puis en pilote préindustrielle.

Références

Esteves B. (2011) Properties of fufurylated wood (Pinus pinaster). Eur. J. Wood Prod, 69, p.521.
Hoyodonickx H. (2011) Biomodification : La technologie de la furfurylation. Le courrier du bois, 170, p.29.
Lande S. (2008) Development of modified wood products based on furan chemistry. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 484, p.367.

Mots-clés : Bois – Chimie – Composite – Furfural – Polymérisation – Préservation.

B03**Extraction, purification et caractérisation de produits naturels
issus de co-produits de l'industrie papetière**

MORAUX Thomas¹, DUMARÇAY Stéphane¹,
GERARDIN Christine¹, GERARDIN Philippe¹

¹Laboratoire d'étude et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB),
Université de Lorraine
thomas.moraux@univ-lorraine.fr

Résumé

L'industrie papetière subit depuis quelques années une baisse importante de production due au changement de comportement des consommateurs (impact du numérique sur la vie quotidienne). La compagnie Vosgienne Norske Skog Golbey (NSG) cherche ainsi à améliorer sa compétitivité, par exemple en diversifiant ses activités, en accord avec les principes de l'économie circulaire. Le projet "LBS" (pour "Le Bois Santé") vise à développer une usine intégrée utilisant des ressources renouvelables pour valoriser des co-produits de l'industrie papetière. Le LERMaB, pour son expertise sur les extractibles issus du bois, est engagé dans ce programme coopératif, tout comme la start-up Harmonic Pharma.

Des travaux récents du LERMaB ont montré la présence d'extractibles en grande quantité dans les branches de différentes espèces (jusqu'à 35 % du bois sec). Les branches des conifères locaux utilisés pour la papèterie sont riches en composés polyphénoliques comme les lignanes (5-20 % du bois sec). Ils exercent principalement une activité anti-oxidante, source d'effets anti-inflammatoires ou d'inhibition enzymatiques.

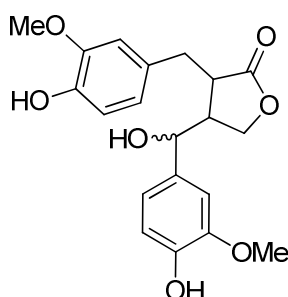


Fig. 1 : Exemple de lignane: structure du 7-Hydroxymatairesinol

Le projet implique l'extraction et l'analyse de mélanges complexes de ces produits naturels par diverses méthodes (percolation/macération/sonication/MWs). Les extraits obtenus ont été purifiés par HPLC préparative, et la méthode a été optimisée pour un scale-up pré-industriel (échelle du gramme). Ce projet constitue un challenge de recherche unique en augmentant la valorisation de co-produits de bois locaux : il s'agit d'un exemple concret d'économie circulaire.

B04

Gélifiants amphiphiles anti-oxydants dérivés d'extraits de bois.

 ORLANDINI Sébastien¹, CHAPUIS Hubert¹,
 HECKER Arnaud², GERARDIN Christine¹
¹Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB),
 Faculté des Sciences et Technologies - Université de Lorraine, Boulevard des Aiguillettes,
 BP70239 54506 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex FRANCE

²IAM, UMR 1136, IFR 110 EFABA, Faculté des Sciences et Technologies
 Université de Lorraine, Boulevard des Aiguillettes,
 BP70239 54506 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex FRANCE

hubert.chapuis@univ-lorraine.fr

Résumé

Les polyphénols, tels que les lignanes, les tannins ou les flavonoïdes, représentent une large classe de composés naturels accessibles à partir d'extraits de bois ou végétaux. Ces molécules sont principalement connus comme anti-oxydants. En tant que produits de la biomasse, les polyphénols naturels peuvent être considérés comme une alternative de choix aux activités pétrochimiques actuelles.

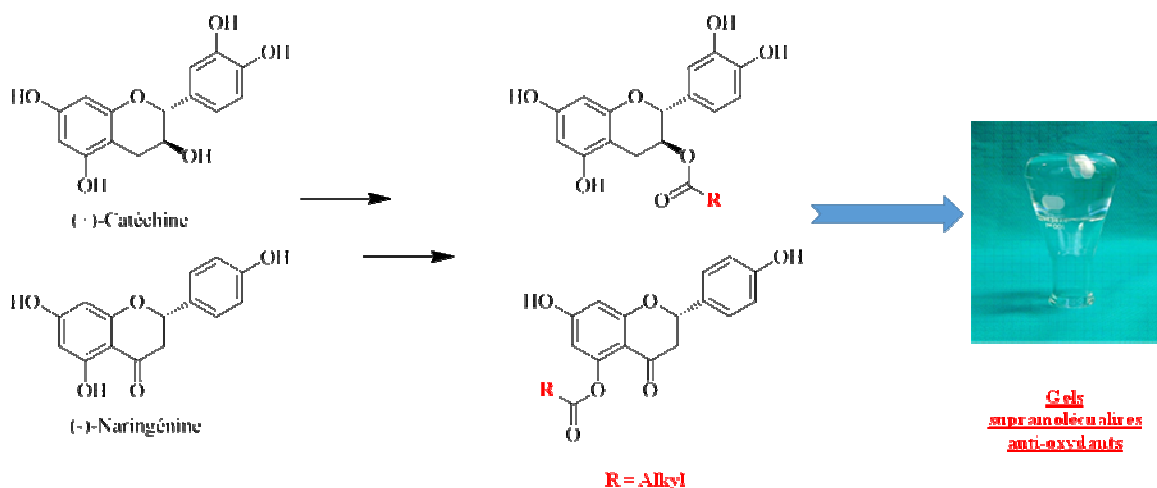


Fig.1 : Accès à des gels supra-moléculaires anti-oxydants

Dans ce but, des structures amphiphiles dérivées de flavonoïdes naturels constitueraient des gélifiants potentiels intéressants (Van Esch (2000), Terech (1997)). A partir de telles molécules, on peut facilement imaginer obtenir des gels supramoléculaires montrant également des propriétés anti-oxydantes. Les gels supra-moléculaires ont suscité lors des quinze dernières années un intérêt croissant dans de nombreux domaines tels que l'industrie cosmétique, pharmaceutique, etc. (Steed (2011), Sangeetha (2005)). Dans ce projet, nous avons travaillé sur la conception et la synthèse de conjugués de type lipophile ou amphiphile présentant une double fonctionnalité gélifiante et anti-oxydante. Différentes stratégies ont été développées pour modifier chimiquement divers flavonoïdes et ont permis d'aboutir à une méthode très simple pour greffer un acide gras à chaîne carbonée variable sur la (+)-catéchine et la (-)-naringénine (Figure 1). Les composés obtenus ont ensuite été caractérisés d'un point de vue physico-chimique (lipophilie, pouvoir gélifiant).

Références

Sangeetha N. M., Maitra, U. (2005) Supramolecular gels: functions and uses, Chem. Soc. Rev., 34, 821-836.

Steed J. W. (2011) Supramolecular gel chemistry: developments over the last decade, Chem. Commun., 47, 1379-1383.

Terech P., Weiss R. G. (1997) Low molecular mass gelators of organic liquids and the properties of their gels, 97, 8, 3133-3160.

Van Esch J. H., Feringa B. L. (2000) New functional materials based on self-assembling organogels: from serendipity towards design, 39, 13, 2263-2266.

Mots-clefs : Polyphénols, flavonoïdes, gels supramoléculaires, amphiphilie, anti-oxydants.

B05

Nouveaux traitements de préservation du bois associant bore, méthacrylate de poly glycérol et traitement thermique

SALMAN Solafa¹, PETRISSANS Anélie¹, THEVENON Marie France²,
DUMARCAY Stéphane¹, GERARDIN Philippe¹

¹Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois, EA 4370-USC INRA,
Université de Lorraine, Faculté des Sciences et Technologies, BP 70239,
54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

²Laboratoire de préservation des bois, CIRAD PERSYST, UPR 40, TA B 40/16,
73 rue Jean François Breton, F-34398 Montpellier Cedex 5, France

SolafaSalman@univ-lorraine.fr

Introduction

Les pressions environnementales apparues en France et dans la plupart des pays européens au cours des dernières décennies ont conduit à l'utilisation de méthodes de préservation plus acceptables pour l'environnement. Dans ce contexte, le traitement thermique du bois est une alternative appropriée pour améliorer les propriétés des bois présentant une faible durabilité naturelle. Les modifications chimiques de la structure des différents constituants pariétaux intervenant sous l'effet de la température confèrent au bois une plus grande stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux champignons basidiomycètes. Malgré ces améliorations, la durabilité conférée au bois traité thermiquement demeure insuffisante pour des applications en contact avec le sol ou en présence des termites. Par ailleurs, le bore sous forme d'acide borique ou de borates, constitue un produit de préservation efficace contre les champignons et les termites présentant une faible toxicité pour les mammifères et l'environnement. Cependant, les produits à base de bore présentent l'inconvénient d'être très facilement lessivables les rendant inutilisables pour des applications dans des conditions extérieures. Dans ce contexte, du borax a été associé à du méthacrylate de polyglycérol pour réduire son lessivage en profitant d'un traitement thermique pour initier la polymérisation au sein de la structure du bois. Les éprouvettes ont été lessivées avant d'évaluer leur durabilité vis-à-vis des termites et de différents champignons de pourriture blanche et brune.

Résultats

Les principaux résultats sont rassemblés dans le tableau 1.

Les résultats indiquent une amélioration significative de la durabilité des éprouvettes traitées même après le lessivage. L'association bore traitement thermique confère comme attendu une bonne durabilité face aux champignons basidiomycètes, mais surtout une durabilité vis-à-vis des termites permettant des applications dans lesquelles des bois traités thermiquement ne pourraient être utilisés. Ces traitements peuvent être une alternative précieuse pour l'utilisation du bois modifié thermiquement dans des conditions extérieures.

Références

- Esteves B.M., Pereira H.M. (2009) Wood modification by heat treatment - A review. *Bioresources*, 4, 1: 370-404.
- Freitag C., Morrell J.J., 2005. Developmenet of threshold values for boron and fluoride in non soil contact applications. *Forest Products Journal* 55, 97-101.
- Gezer E.D., Michael J.H., Morrell J.J. (1999) Effects of glycol on leachability and efficacy of boron wood preservatives. *Wood Fiber Sci*, 31: 136-142.
- Kartal S.N., Green F. (2003) Leachability of boron from wood treated with natural and semi-synthetic polymers and calcium precipitating agent. *Holz Roh Werkst*, 61: 388-389.

Kartal S.N., Yoshimura T., Imamura Y. (2004a) Decay and termite resistance of boron-treated and chemically modified wood by in situ co-polymerisation of allyl glycidyl ether (AGE) with methyl methacrylate (MMA). *Int Biodeter and Biodegr*, 53: 111-117.

Kartal S.N. (2006) Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Boron release and decay and termite resistance. *Holzforschung*, 60, 4: 455-458.

Tab. 1 : Résistance des éprouvettes de pin sylvestres traitées aux termites et aux champignons

Traitement	Résistance des champignons			Résistance des termites	
	Perte de masse (%)				
	<i>Poria placenta</i>	<i>Coniophora puteana</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Perte de masse (%)	Survival rate of termites
Témoin	31.24±3.7	35.63±8.3	27.47±4.1	26.17±3.99	87
220°C	0.33 ± 0.8	0.25±0.6	0.78 ± 0.9	19.92±2.64	54
220°C (L) ¹	0.33 ± 0.8	1.12±1.7	0.28 ± 0.4	29.03±2.31	60
PGMA 10%, 220°C	0.11±0.1	0±0	0 ± 0	5.46±1.74	1
PGMA 10%, 220°C (L) ¹	0.69±0.4	0.16±0.2	0.58±0.8	5.95 ± 1.41	2
2% BAE, 220°C	2.02±1.4	0.96±1.0	1.07±0.8	3.78 ±0.31	0
2% BAE, 220°C (L) ¹	2.22±1.7	1.4±0.4	2.49±1.3	16.07±8.25	21
2% BAE, PGMA 10%, 220°C	1.56±0.7	0.69±0.3	1.34±1.2	2.96±0.43	0
2% BAE, PGMA 10%, 220°C (L) ¹	1.95± 0.5	0.53±0.7	2.99±0.9	3.45± 0.83	0
4% BAE, 220°C	1.17±1.1	0.81±0.9	0.32±0.4	3.37±1.04	0
4% BAE, 220°C (L) ¹	3.85±2.9	2.19±1.0	0.7±1.2	8.51±1.8	18
4% BAE, PGMA 10%, 220°C	0.7±0.2	0.55±0.8	0.07±0.2	2.81±0.33	0
4% BAE, PGMA 10%, 220°C (L) ¹	2.86±1.1	2.43±1.8	3.86±0.7	2.45± 0.23	0

¹ L = après lessivage

Mots-clefs : additif, bore, bois, lessivage, termites, traitement thermique, pourriture brune et blanche.

B06

Transfert de l'eau dans le feuillu au-dessus du PSF : cas du bouleauBONNET Marie^{1,2}, JOHANSSON Jimmy²¹Laboratoire Navier, Université Paris-Est, France²Linnæus University, Suèdebonnetm@lami.enpc.fr**Problématique**

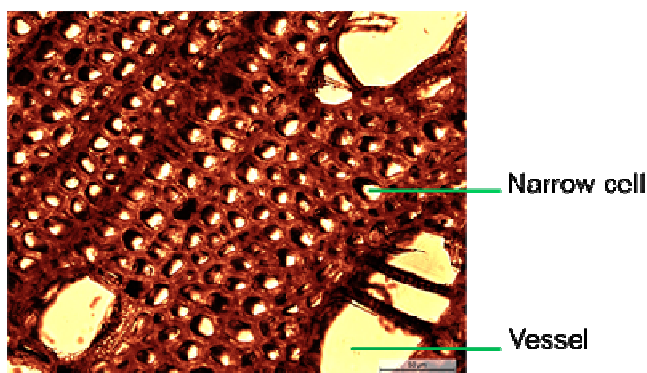
La microstructure complexe du bois ainsi que son hygroscopie induisent des phénomènes de transport de l'eau très spécifiques à ce matériau et dont la connaissance est primordiale pour contrôler et améliorer des étapes industrielles telles que le séchage du bois. Salin et Johansson (Salin et Johansson 2011) ont développé un modèle de percolation d'invasion qui permet de reproduire le transport de l'eau dans le bois pour des teneurs en eau supérieures au PSF. Ce modèle identifie la microstructure du bois à un tableau de cellules de différentes tailles, reliées entre-elles par des ouvertures qui ont une probabilité p d'être fermées. L'eau remplit les cellules par capillarité et, une fois une cellule remplie, l'eau circule vers une cellule voisine *via* l'ouverture la plus large. Une caractérisation expérimentale de la structure du bois et du transport de l'eau est donc nécessaire pour fournir des données d'entrée à ce modèle. L'objectif du stage (PFE 4^{ème} année INSA Lyon) réalisé au sein du laboratoire *Forestry and Wood Technology* de l'Université Linnæus (Suède) était de déterminer des données d'entrées au modèle de percolation d'invasion pour une essence de bois feuillue (bouleau) (Bonnet et Johansson 2012).

Caractéristiques microstructurales des cellules de bouleau

Le modèle de percolation d'invasion nécessite de caractériser les dimensions et densités de cellules. Ce travail a été effectué sur un même arbre par microscopie optique et traitement d'images. Tous les échantillons ont été prélevés dans la même section transversale à différentes distances du centre afin d'étudier les possibles variations microstructurales selon la direction radiale. Ainsi, 100 coupes anatomiques (figure 1) ont été analysées pour le comptage des cellules, et 10 pour le dimensionnement.

Deux classes de cellules ont été mises en évidence (figure 2) : les vaisseaux, et les « narrow cells » (ensemble des autres types de cellules). La forme des sections cellulaires étant très variable, la notion de rayon équivalent a été utilisée pour le dimensionnement : l'aire de la section, calculée par traitement d'images, a été assimilée à l'aire d'un cercle ($S_{\text{mesurée}} = \pi R_{\text{eq}}^2$). La longueur des cellules n'a quant à elle pas pu être mesurée du fait de la limite des équipements utilisés (grossissement pas assez important et coupes réalisées au microtome manuel pas assez fines).

Fig. 1 : Section transversale de bouleau observée au microscope optique (LEICA DM 1000) (x40)



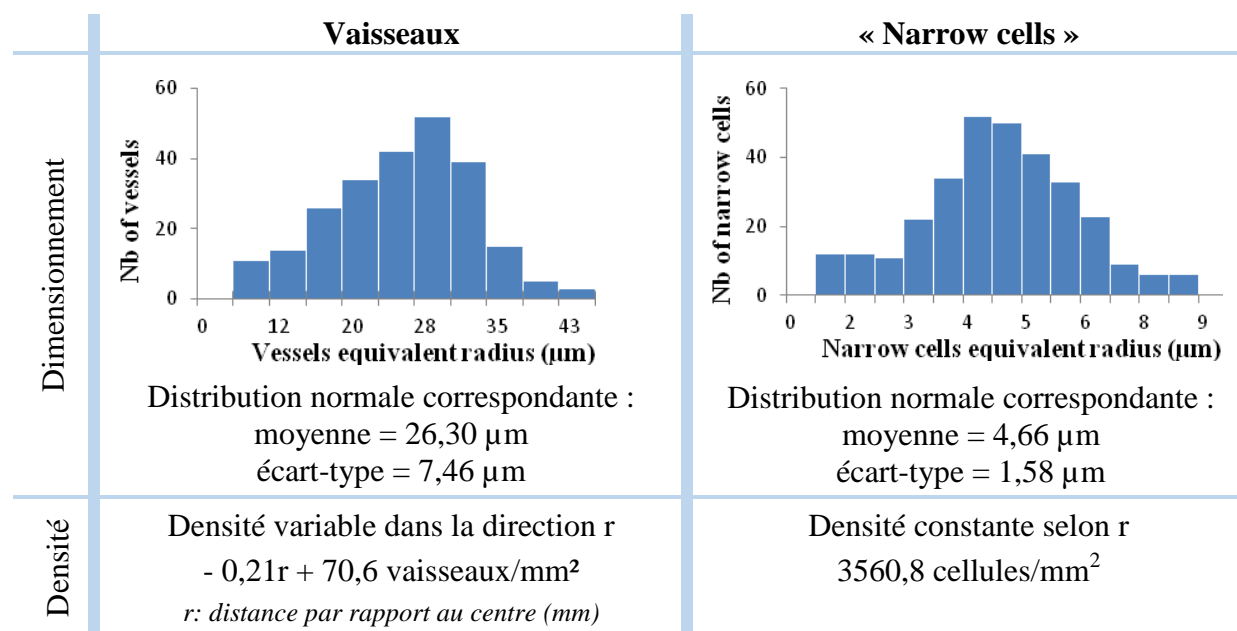


Fig. 2 : Résultats de la caractérisation expérimentale des cellules du bouleau

Absorption d'eau dans le bouleau

Afin de caractériser le transfert de l'eau libre dans le bouleau, des tests d'absorption ont été réalisés sur des échantillons de section 20x20 mm² et de différentes hauteurs (10 à 15 mm). La comparaison des courbes d'absorption (figure 3) met en évidence, pour les échantillons jusqu'à 30 mm, un comportement typique de montée d'eau par capillarité où un seuil de saturation apparaît clairement. En revanche, le comportement des échantillons les plus hauts est différent (seuil de saturation très tardif), certainement dû à la différence de taille entre vaisseaux et cellules étroites.

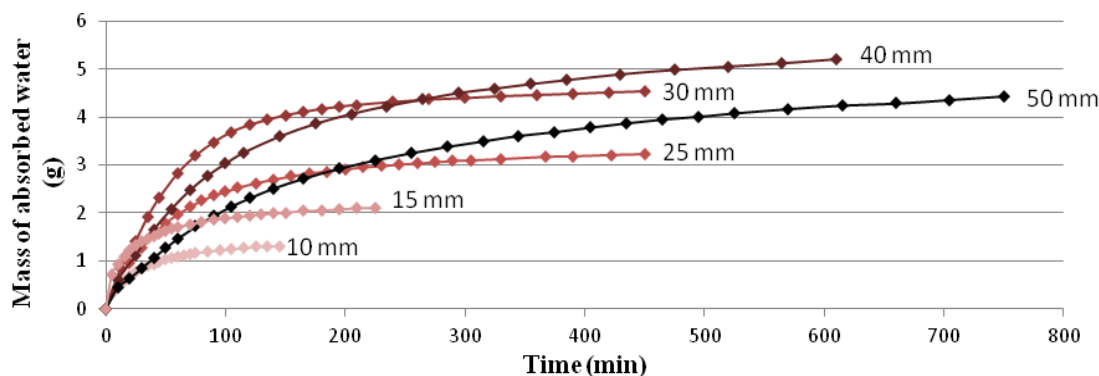


Fig. 3 : Courbes d'absorption pour des échantillons de bouleau de différentes hauteurs

Bibliographie

- Bonnet M., Johansson J. (2012) Moisture transport in birch : application of the invasion percolation model, Rapport de stage 4^{ème} année INSA Lyon, Université Linnæus.
- Johansson J., Salin J.-G. (2011) Application of percolation modelling on end-grain water absorption in aspen (*Populus tremula* L.), Wood Material Science & Engineering, 112-118.

B07

Modélisation des panneaux en bois lamellé croisé en flexion: vers un modèle de couche équivalente pour le bois?

FRANZONI Lorenzo¹⁻², LEBEE Arthur¹, FORET Gilles¹, LYON Florent²

¹Laboratoire Navier - ENPC/IFSTTAR/CNRS

²Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

lorenzo.franzoni@enpc.fr

Introduction

Les panneaux en bois lamellé croisé (CLT – Cross Laminated Timber) sont des éléments de structure constitués de planches en bois empilées alternativement à 90° et collées sur leurs faces supérieures et inférieures (Fig. 1). La légèreté et la facilité d'assemblage de ces éléments permettent la préfabrication de planchers, murs et même de structures complètes.

Les couches croisées des CLT en flexion montrent une très faible résistance au cisaillement dans la direction perpendiculaire aux fibres. Cette faiblesse provoque le plus souvent une rupture fragile « au cisaillement roulant » sous chargement de flexion 3-points (Fig. 2). Les méthodes existantes pour le dimensionnement des CLT en flexion sont des approches simplifiées. De plus, une réglementation spécifique n'a pas encore été développée. Avec ce projet de recherche on utilise des solutions exactes pour prédire le comportement des panneaux CLT en flexion, afin de mieux comprendre la réponse mécanique et de montrer les avantages de ces produits.

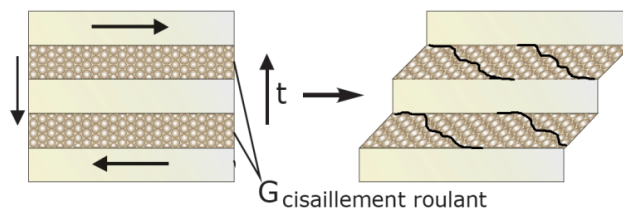
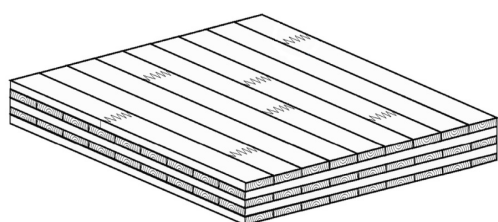


Fig. 1 : Panneau en bois lamellé croisé Fig. 2 : Phénomène du cisaillement « roulant »

Modèle de Couche Équivalente de CLT

Les panneaux CLT peuvent être modélisés à travers une approche complète 3D ou réduite de plaque (2D) ou de poutre (1D). Dans tous les cas les couches sont considérées comme homogènes. En pratique chaque couche est composée de plusieurs planches en bois côte à côte (Fig. 1) et dans chaque planche l'orientation des cernes est variable localement (Fig. 3a). En outre, la présence ou absence de petits écarts entre les planches (Fig. 3b) peut rendre la couche CLT *discontinue* ou *continue*. Ces hétérogénéités montrent la nécessité de développer un modèle de « couche homogène équivalente de CLT ». Le Tableau 1 montre le modèle d'une couche équivalente discontinue.

Une fois que le modèle de couche équivalente est défini, nous avons appliqué deux solutions exactes en élasticité et à rupture. La solution élastique est la théorie 3D exacte pour une plaque multicouche appuyée sur deux (Pagano, 1970) ou quatre cotés (Pagano, 1969). Ces solutions permettent une estimation précise des effets liés au cisaillement transverse.

Les contraintes obtenues en élasticité sont par la suite utilisées dans un critère de rupture pour le bois (Van der Put, 1982) ce qui permet la détermination du chargement critique et le mode de ruine associé.

La comparaison avec les résultats d'une expérience de référence (Hochreiner et al, 2013) nous a permis de valider le modèle de couche équivalente.

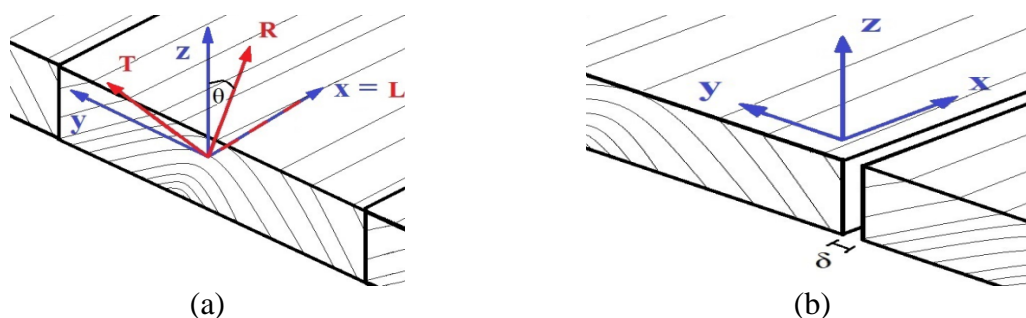


Fig. 3 : Couche équivalente de CLT continue (a) et discontinue (b)

Tab. 1 : Propriétés mécaniques d'élasticité et résistance du modèle de couche discontinue [MPa]

E_x	E_y	E_z	G_{xz}	G_{xy}	G_{yz}	ν_{xz}	ν_{xy}	ν_{zy}
12800	$\mapsto 0.0$	397	587	587	53	0.018	0.0	0.0
$f_{x,T}$	$f_{x,C}$	$f_{y,T}$	$f_{y,C}$	$f_{z,T}$	$f_{z,C}$	$f_{V,xz}$	$f_{V,xy}$	$f_{V,zy}$
63.4	38.9	$\approx 10^2$	$\approx 10^2$	2.8	3.6	4.8	4.8	2.0

Applications

Le modèle de couche équivalente développé est indépendant de l'approche utilisée (complète 3D ou réduit) et de l'utilisation du panneau CLT (plancher, mur). Pour les CLT en flexion nous avons pu mettre en évidence les résultats suivants :

- La variation du mode de ruine en fonction des caractéristiques géométriques et de chargement
- L'identification du critère de dimensionnement pour le panneau CLT
- L'effet de l'orientation des couches sur la résistance et la flèche
- L'effet d'un amincissement progressif de la section dû à une combustion (situation d'incendie).

Références

- Hochreiner, G. Füssl, J. Eberhardsteiner, J. (2013) Cross Laminated Timber plates subjected to concentrated loading. Experimental identification of failure mechanisms. *Strain*, 50 68-81.
- Pagano, N.J. (1970) Influence of shear coupling in cylindrical bending of anisotropic laminates. *Journal of composite materials* 4, 330-343.
- Pagano, N.J. (1969) Exact solutions for rectangular bidirectional composites and sandwich plates. *Journal of composite materials* 4, 20-34.
- Van der Put, TACM (1982) A general failure criterion for wood. Proceedings of 15th Conseil Industrielle des Bois-International. Borås, Sweden.

Mots-clefs : Bois Lamellé Croisé, Flexion, Modélisation.

B08

Les instabilités de voilement des panneaux en lamellé croiséPERRET Olivier¹, DOUTHE Cyril¹, LEBEE Arthur², SAB Karam¹¹Université Paris-Est, Laboratoire Navier (UMR 8205),
CNRS, ENPC, IFSTTAR, 77455 Marne-la-Vallée, France²Université Paris-Est, IFSTTARolivier.perret@enpc.fr**Introduction**

Le lamellé croisé (CLT – Cross Laminated Timber) se présente généralement sous la forme de panneaux multicouches en bois dont les plis sont alternativement croisés à 90° et collés sur leurs faces supérieures et inférieures (cf Fig 1). Ils sont de plus en plus utilisés pour construire des bâtiments de grande hauteur entièrement composés de CLT du fait de leur légèreté et de leur facilité d'assemblage.

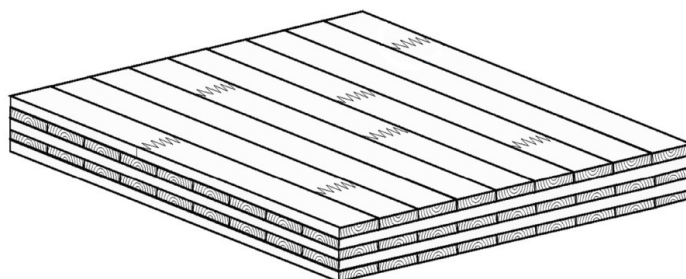


Fig. 1 : Panneau en bois lamellé croisé

Utilisés comme murs porteurs et donc soumis à un chargement dans le plan, ces panneaux sont susceptibles d'être instables par voilement avant d'atteindre la rupture. En effet, dans le cas de plaques peu élancées, la raideur en cisaillement a une influence sur la charge critique de flambement, charge à partir de laquelle la plaque sort de son plan d'origine. Or, dans les couches transversales, la raideur de cisaillement radial-tangentiel (ou cisaillement roulant) est très faible et peut donc conduire à une baisse significative de la capacité portante de la structure et donc à une ruine prématurée.

Ainsi, le présent projet de recherche a pour but d'évaluer les ordres de grandeur de ce phénomène par une étude numérique 3D et 2D et de voir dans quelle mesure ces résultats peuvent être approchés par les théories de plaques.

Modélisation du problème de voilement

A l'aide du logiciel aux éléments finis ABAQUS, nous avons réalisé une étude numérique 3D et 2D du problème de voilement d'une plaque carrée en CLT. Pour le cas bidimensionnel, nous avons distingué les éléments de type Kirchhoff et les éléments de type Reissner afin de comparer les résultats à ceux obtenus analytiquement par les théories de plaques associées. Dans le cas des modélisations par plaques épaisses de Reissner et pour la modélisation 3D, nous avons utilisé les conditions aux limites *soft simple support* et *hard simple support* qui témoignent de la possibilité ou non de se déplacer parallèlement aux bords simplement appuyés (cf Fig 2). Nous avons fait varier le module de cisaillement roulant de 22 à 50 MPa, qui sont les valeurs extrêmes trouvées dans la littérature. Pour les modèles de plaques, nous avons modélisé un matériau orthotrope homogène équivalent au CLT en utilisant la théorie du Bending-Gradient proposée par Arthur Lebée et Karam Sab (2011).

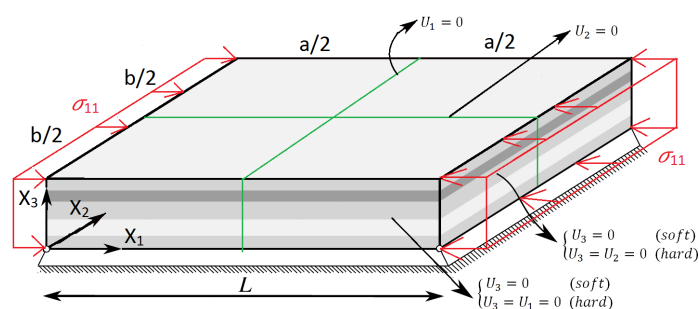


Fig. 2 : Modélisation du problème de voilement d'une plaque en CLT

Comparaison numérique/analytique

Les résultats obtenus (cf Fig. 3) nous permettent de faire les remarques suivantes :

- les charges critiques de voilement peuvent varier de près de 50% selon les conditions aux limites et le module de cisaillement roulant utilisés ;
- les charges critiques de voilement sont du même ordre de grandeur que la rupture en compression : le dimensionnement au voilement est donc une nécessité ;
- la théorie de Kirchhoff est insuffisante pour décrire le comportement au voilement des panneaux en CLT. En revanche, la théorie de Reissner se rapproche de manière très satisfaisante des résultats numériques 3D supposés « réels »

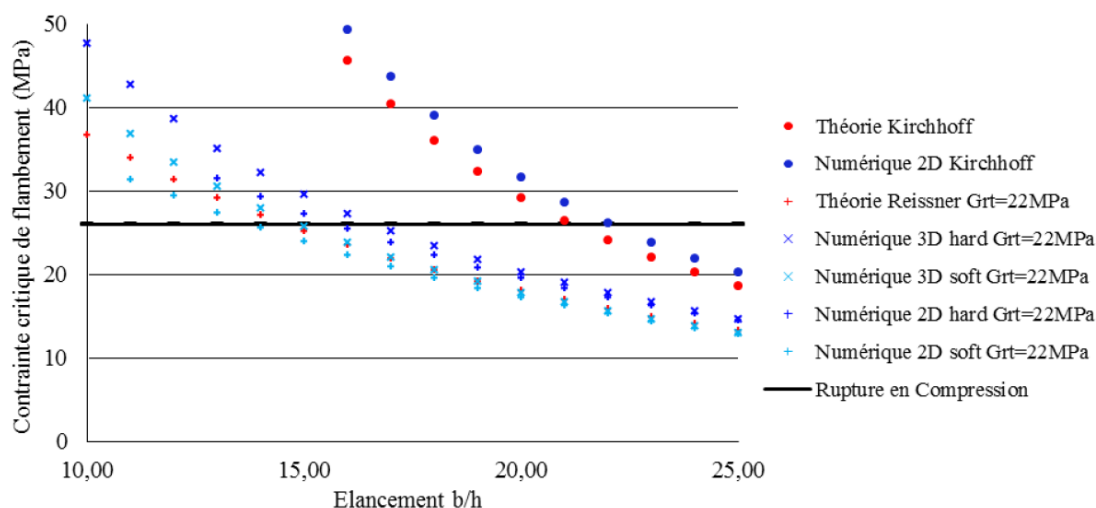


Fig. 3 : Comparaison des résultats numériques 2D et 3D aux résultats analytiques des théories de plaques de Kirchhoff et de Reissner

Des études plus approfondies doivent être menées pour tenir compte des imperfections de géométrie (excentrement de la charge, déformée initiale) et de matériaux (variations des caractéristiques matériels autre que le cisaillement roulant).

Références

- Lebée, A. Sab, K.(2011) A Bending-Gradient model for thick plates. Part I: Theory. *International Journal of Solids and Structures* 48(20), pp. 2878-2888.
- Bazant, Z.P. Cedolin, L.(1991) Stability of Structures: Elastic Inelastic, Fracture and Damage Theories. *Oxford University Press*. p, 1011 pages.

Mots-clés : lamellé croisé, cisaillement roulant, plaque épaisse, flambement linéaire.

B09

 β -Galactosidases: un rôle dans les couches G du bois de tension ?

ŠEĆEROVIĆ Amra¹, GUEDES Fernanda¹, LESAGE-DESCAUSES Marie-Claude¹,
MILLET Nadège¹, LAINE-PRADE Véronique¹, LAURANS Françoise¹,
LEPLE Jean-Charles¹, DEJARDIN Annabelle¹, PILATE Gilles¹

¹INRA, UR588, Unité Amélioration Génétique et Physiologie Forestières,
CS 40001 Ardon, 45075 Orléans Cedex 2, France

Amra.Secerovic@orleans.inra.fr

Résumé

Les arbres angiospermes sont capables d'orienter ou de réorienter leurs axes grâce à la formation d'un bois particulier, le bois de tension, présentant de très fortes contraintes de maturation, et qui se caractérise, chez le peuplier, par la mise en place dans la paroi secondaire des fibres, d'une couche surnuméraire, la couche G. Cette couche est très riche en microfibrilles de cellulose (MFC) orientées parallèlement à l'axe de la fibre. Il a été récemment montré que les fortes contraintes du bois de tension sont supportées par les MFC de cette couche (Clair et al. 2011), mais il reste à déterminer quel(s) acteur(s) moléculaire(s) est/sont responsable(s) de leur mise en tension. Récemment, la présence d'un gel de très grande porosité a été mise en évidence dans la couche G (Clair et al. 2008) tandis que des expériences en immunolocalisation ont détecté des pectines de type RGI dans cette même couche (Guedes et al. submitted). La comparaison des marquages obtenus avec des anticorps soit spécifiques du squelette RGI, soit spécifiques des chaînes latérales en β 1-4 galactane, suggère que ces chaînes latérales sont hydrolysées au cours de la maturation de la couche G, comme ce qui est observé dans les fibres périphloémiennes de lin (Roach et al. 2011), des fibres très similaires aux fibres G du bois de tension. Ainsi, notre hypothèse est que les RGI hydrolysés par une galactosidase formeraient le gel observé et que ce gel est à l'origine de la mise en tension des MFC. Dans cette perspective, nous nous sommes intéressés à déterminer le niveau d'expression de l'ensemble des 23 gènes β -GAL présents sur le génome de *Populus trichocarpa*, dans le bois de tension et le bois opposé de peuplier (*Populus tremula* x *Populus alba*). Seul le gène β -GAL 7 montre une expression spécifique dans le bois de tension chez tous les individus évalués; de façon intéressante, la séquence de β -GAL 7 est l'orthologue de la β -GAL (*Lu β -GAL40*) identifiée dans les fibres de lin. Cette analyse d'expression est actuellement complétée par une étude plus large sur le niveau d'expression des 23 β -GAL dans différents tissus de peupliers (bourgeon apical, feuilles, racines, graines notamment). De même, nous avons introduit une partie spécifique de la séquence de β -GAL 7 dans le vecteur pHellsgate8 afin de créer des peupliers transgéniques sous-exprimant cette β -GAL 7 par stratégie RNAi et de les évaluer finement pour leur capacité à fabriquer un bois de tension efficace.

Références

- Clair B. et al. (2008) Characterization of a gel in the cell wall to elucidate the paradoxical shrinkage of tension wood. *Biomacromolecules*, 9, 494-498.
- Clair B. et al. (2011) Maturation stress generation in poplar tension wood studied by synchrotron radiation microdiffraction. *Plant Physiol.*, 155, 562-570.
- Guedes F. et al. Evaluation of non-cellulosic polysaccharide distribution in differentiating and mature poplar tension wood fibres: abundance of rhamnogalacturonan I, presence of acetylated glucomannan and absence of xyloglucan in the G-layer. Submitted *Plant Physiol*
- Roach M. et al. (2011) Development of cellulosic secondary walls in flax fibers requires β - galactosidase. *Plant Physiol.*, 156, 1351-1363.

Mots-clefs : Bois de tension, Immunolocalisation, Microfibrilles, Pectines, Peuplier, Q-PCR, Rhamnogalacturonanes, Simarouba.

B10**Caractérisation mécanique de la paroi cellulaire du bois de tension en cours de maturation par microscopie à force atomique**CAPRON Marie¹, RAMONDA Michel², LAURANS Françoise³, ARNOULD Olivier¹¹Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), CNRS, Université Montpellier 2²Service commun CTM « champ proche », Université Montpellier 2³INRA, UR588 Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, Orléans, France.marie.capron@univ-montp2.fr**Résumé**

Les arbres maintiennent leur orientation en générant dans leurs tiges une contrainte périphérique asymétrique. La génération de cette contrainte se fait pendant la maturation cellulaire, phase qui commence après la différenciation des jeunes cellules filles au niveau du cambium et qui se poursuit par l'épaississement de la paroi jusqu'à la mort cellulaire. Chez les feuillus, l'asymétrie est générée par la formation d'un bois en très forte contrainte de tension sur la face supérieure de la tige inclinée. Le bois ainsi formé est appelé bois de tension et présente des caractéristiques microstructurales fortement distinctes du bois dit normal. Une caractéristique remarquable chez la quasi-totalité des espèces tempérées est que les fibres mettent en place une couche pariétale appelée couche gélatineuse, ou couche G, qui est non lignifiée et fortement mesoporeuse (Chang *et al.*, 2009). Il a été récemment montré, à l'échelle microscopique, que la mise en tension de la cellulose durant la maturation était synchrone à l'apparition de cette couche (Clair *et al.*, 2011). De nombreuses espèces tropicales, telles que le simarouba, ne se conforment pas au modèle de paroi du bois de tension à couche G observé chez les plantes tempérées. Les mécanismes de génération de contraintes dans les fibres du bois de tension, avec et sans couche G, restent mal connus. Ils sont actuellement l'objet de recherches dans le cadre du projet ANR « Stress in Trees » (ANR-12-BS09-0004). L'une des clés repose sur la connaissance de la cinétique spatiale et temporelle de rigidification des différentes couches de la paroi cellulaire au cours de la maturation parallèlement à la mise en tension des différentes couches.

Ainsi, les objectifs de nos recherches sont de mesurer la rigidification des différentes couches de la paroi cellulaire en fonction de la distance au cambium pour du bois de tension de peuplier et de simarouba, d'observer d'éventuels gradients de rigidité au sein des couches de la paroi et leur évolution au cours de la maturation et enfin de mettre en relation ces différentes évolutions avec celle de la mise en tension des microfibrilles de cellulose.

Les mesures mécaniques sont obtenues à l'aide d'un microscope à force atomique (AFM). Le LMGc développe, et utilise depuis plusieurs années, en collaboration avec l'IES (R. Arinero, CNRS, Université Montpellier 2), une technique de caractérisation mécanique à l'échelle submicrométrique reposant sur la microscopie à force atomique à contact résonnant, dite CR-AFM (Arinero *et al.* 2007). Cette technique a été utilisée pour caractériser des cellules de bois matures (Clair *et al.*, 2003, Bytebier 2009, Arnould *et al.* 2014). Dans le cadre du projet ANR, cette technique nous permet de mesurer l'évolution du module de contact et, dans une moindre mesure, de l'amortissement suivant la direction axiale sur une séquence de cellules de bois en cours de maturation sur des échantillons de peuplier (Fig. 1) et de simarouba. Les résultats ainsi obtenus seront finalement comparés à des mesures de modules d'indentation obtenus par nanoindentation (L. Bonnet, S. Callas, L2C, CNRS, Université Montpellier 2).

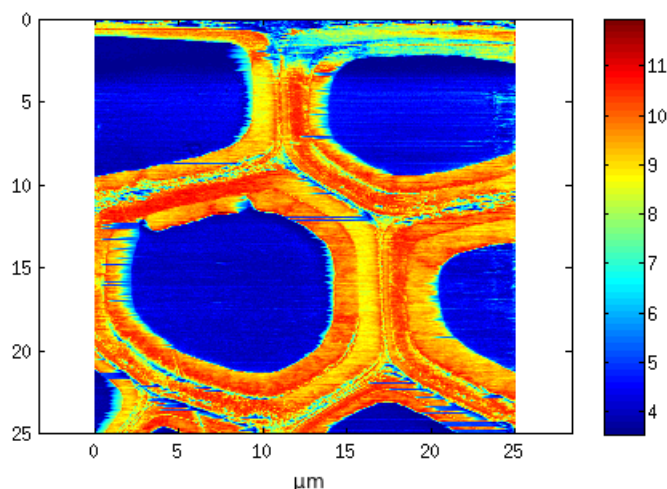


Fig. 1 : Cartographie du module de contact (en GPa) de bois de tension de peuplier obtenue microscopie à force atomique avec le mode CR-AFM

Références

- Arinero R., Lévêque G., Girard P. et Ferrandis J.Y. (2007). Image processing for resonance frequency mapping in atomic force microscopy. *Review of Scientific Instruments*, 78: 6p.
- Arnould O. et Arinero R. (2014). A comprehensive study of the wood cell wall characterisation with Contact Resonance Atomic Force Microscopy. Submitted to *Composites Part A*.
- Bytebier K. (2009). *Etude du comportement mécanique de la paroi cellulaire du bois par Microscopie à Force Atomique*. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.
- Chang S.S., Clair B., Ruelle J., Beauchêne J., Di Renzo F., Quignard F., Zhao G.J., Yamamoto H. et Gril J. (2009). Mesoporosity as a new parameter in understanding of tension stress generation in trees. *Journal of Experimental Botany*, 60: 3023-3030.
- Clair B., Arinero R., Lévêque G., Ramonda M. et Thibaut B. (2003). Imaging the mechanical properties of wood cell wall layers by atomic force modulation microscopy. *IWA Journal*, 24(3): 223-230.
- Clair B., Alméras T., Pilate G., Jullien D., Sugiyama J. et Riekel C. (2011). Maturation stress generation in Poplar tension wood studied by synchrotron radiation microdiffraction. *Plant Physiology*, 155: 562-570.
- Rodriguez B.J., Callahan C., Kalinin S.V. et Proksch R. (2007). Dual-Frequency Resonance-Tracking Atomic Force Microscopy. *Nanotechnology*, 18: 475504.

Mots-clefs : Bois de tension ; couche G ; maturation cellulaire ; CR-AFM ; nanoindentation.

B11

De l'atelier au laboratoire : des échanges entre artisans et scientifiques mutuellement bénéfiques

Compte rendu du symposium WoodSciCraft 2014

&

Présentation d'un projet sur le buis, de l'arbre à la facture instrumentale

CABROLIER Pierre¹, BREMAUD Iris¹

¹Laboratoire LMGC - UMR 5508 - Equipe BOIS - Place E. Bataillon, CC048,
34095 MONTPELLIER Cedex 5

pcabrolier@hotmail.fr

Résumé du poster

Alors que la science du bois est une discipline relativement jeune, l'artisanat du bois est lui porteur d'un patrimoine historique d'utilisation sans commune mesure. Les artisans qui travaillent le bois ont développé d'important savoirs sur cette matière, que ce soit à l'échelle de l'expérience acquise par un individu ou à l'échelle de l'histoire des techniques.

L'originalité de la démarche proposée est d'apprendre des artisans des phénomènes complexes associés aux comportements et aux propriétés des bois qu'ils observent dans leurs ateliers et de les étudier en laboratoire. Mais aussi d'utiliser leurs connaissances empiriques *-en d'autres termes leurs savoirs acquis par l'expérience-* dans la sélection des bois et leurs mises en œuvre. Néanmoins, afin que ces échanges se fassent de manières mutuellement bénéfiques le dialogue entre les scientifiques et les artisans doit se construire de manière raisonnée. L'apport des sciences humaines et sociales est ici primordial pour que les dialogues soient constructifs. Par exemple un ethnologue des techniques peut apporter la dimension sociétale à l'objet d'étude et par conséquent de définir le cadre dans lequel il se place.

C'est dans ce contexte que le premier Symposium International WoodSciCraft 2014 « *sciences et artisanats du bois : regards croisés entre Europe et Japon* » c'est tenu en septembre dernier à Montpellier. Pendant 4 jours, dont chaque journée était focalisée sur un métier du travail du bois (*de la charpente à la finition*), ce symposium a rassemblé de l'ordre de 130 participants d'une quinzaine de pays différents. Avec 57 contributions de formats variés (*des conférences de synthèses aux démonstrations de techniques artisanales*) WoodSciCraft 2014 est un exemple en soi de la réussite d'un tel projet. L'audience était harmonieusement répartie entre les scientifiques de différents domaines et les artisans de différents métiers. La confrontation entre les cultures Occidentales et Japonaise a contribué à initier, renforcer et décloisonner les échanges entre les participants. Le Japon est en effet un pays emblématique pour sa forte culture du bois, tant dans le patrimoine et les artisanats que dans les sciences. La qualité des échanges lors de la première édition était telle que les échanges se poursuivront jusqu'à la deuxième édition de WoodSciCraft qui se tiendra au Japon.

Dans le contexte précédemment décrit, le poster présente aussi un projet en cours sur *le bois de buis de l'arbre à la facture instrumentale*. L'origine de ce projet repose sur des échanges avec Bruno Salenson, un facteur d'instruments à vent dans le Sud de la France, qui travaille depuis longtemps cette essence emblématique, et qui non seulement a une forte expérience dans l'utilisation du buis mais aussi cherche à améliorer certains procédés de fabrication. Réputée pour le tournage et la qualité de ses finitions, le buis est aussi une essence difficile à mettre en œuvre depuis le séchage jusqu'à l'instrument fini qui continue parfois de se déformer plusieurs jours après les étapes de finitions. D'un point de vue biomécanique c'est aussi une essence emblématique, notamment du fait qu'elle produit du bois de compression, très rarement associé aux feuillus. Compte tenu de la très faible quantité de données sur les propriétés des buis, ce projet qui fait l'objet d'un PostDoctorat, vise à caractériser les propriétés physico-mécaniques de deux espèces de buis classiquement utilisés en facture instrumentale (*Buxus sempervirens* et *Buxus balearica*) et à collecter auprès de facteurs

d'instruments les connaissances empiriques développées à travers les usages de ces deux essences. L'un des enjeux est de fournir un jeu de données aussi complet que possible sur les propriétés mécaniques et physiques de ces deux essences, à partir du bois vert, mais aussi à partir de châtes d'atelier de différentes qualités (selon le point de vue de l'artisan). Les propriétés qui seront mesurées sont : (i) l'estimation du profil interne des contraintes de croissances ainsi que (ii) les déformations de séchage à partir de bois vert. (iii) Les coefficients de la matrice d'élasticité (ultrasons par contact direct, essais de traction), ainsi que (iv) les propriétés dynamiques selon la direction longitudinale par vibration forcée de poutre libre (outil développé au sein du laboratoire, Vybris). (v) Les effets mecanosorptifs seront également estimés.

Au final les perspectives de ce projet sont de caractériser par modélisation les phénomènes de déformations observés par les facteurs d'instrument (ovalisation de la section et fléchissement de l'instrument après libération des contraintes internes et du fait de la fluctuation de l'humidité lors de l'utilisation de l'instrument) et de mettre en évidence des solutions adaptées à un atelier pour relâcher les contraintes internes.

Mots-clefs : Artisanat, buis, caractérisation physico-mécanique, facture instrumentale, interdisciplinarité, métiers du bois, sciences.

B12

Caractérisation visuelle, structurelle et acoustique de l'épicéa et de l'érable de lutherie : détermination des figures de l'érable et des paramètres de cernes de l'épicéa

CARLIER Capucine¹, BREMAUD Iris¹, MATSUO Miyuki²,
NAKAMURA Masashi³, GRIL Joseph¹

¹Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil (LMGC), Université de Montpellier, France

²Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Japan

³Laboratory of Biomaterials Design, Graduate School Agriculture, Kyoto University, Japan

capucine.carlier@univ-montp2.com

Introduction

La lutherie du quatuor étant un domaine d'une forte importance économique et culturelle, les bois de résonance ont attiré l'attention d'un nombre conséquent de recherches qui sont restées plutôt disciplinaires, sans prendre en compte les interactions entre différents domaines.

Les objectifs de cette étude sont d'améliorer la compréhension du lien entre les propriétés objectives des bois de résonance (physique, mécanique, acoustique) et l'expérience réelle des luthiers dans leur sélection du bois et de caractériser leur variabilité en lien avec leurs qualités à l'usage. Lors d'une enquête effectuée avec les luthiers de Montpellier, il est apparu que pour le choix des bois de tables d'harmonie les critères les plus utilisés étaient la densité, le débit, et les paramètres de cernes. Pour les bois de fonds, en plus des critères cités précédemment, les critères esthétiques d'onde et de maille se sont également révélés importants (Fig. 1).

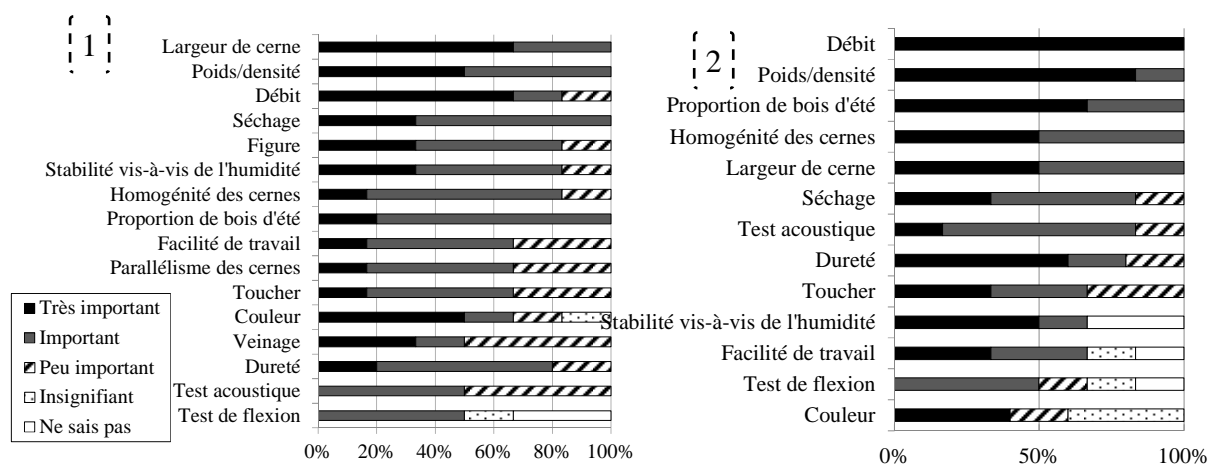


Fig. 1 : Degré d'importance des critères de choix du bois de fond (1) et du bois de table (2)

Matériaux et méthodes

Les échantillons de bois étudiés proviennent de planches de résonance d'érables ondés (*Acer Pseudoplatanus*) achetés à un fournisseur du Jura. Ces dernières ont toutes été estimées par le fournisseur pour être vendues selon 4 grades de différentes qualités de la meilleure à la moins bonne (1S, 1A, 1B, 2° choix). L'évaluation des figures du bois se fait par un montage goniophotométrique où deux zones de chaque fonds sont photographiées sous différents angles d'éclairage (de 0 à 180° avec une photo tous les 5°). Les images sont ensuite traitées par un programme d'analyse à multi-résolution de contraste (MRCA) développé par à l'université de Kyoto (Nakamura, 1999) qui ne

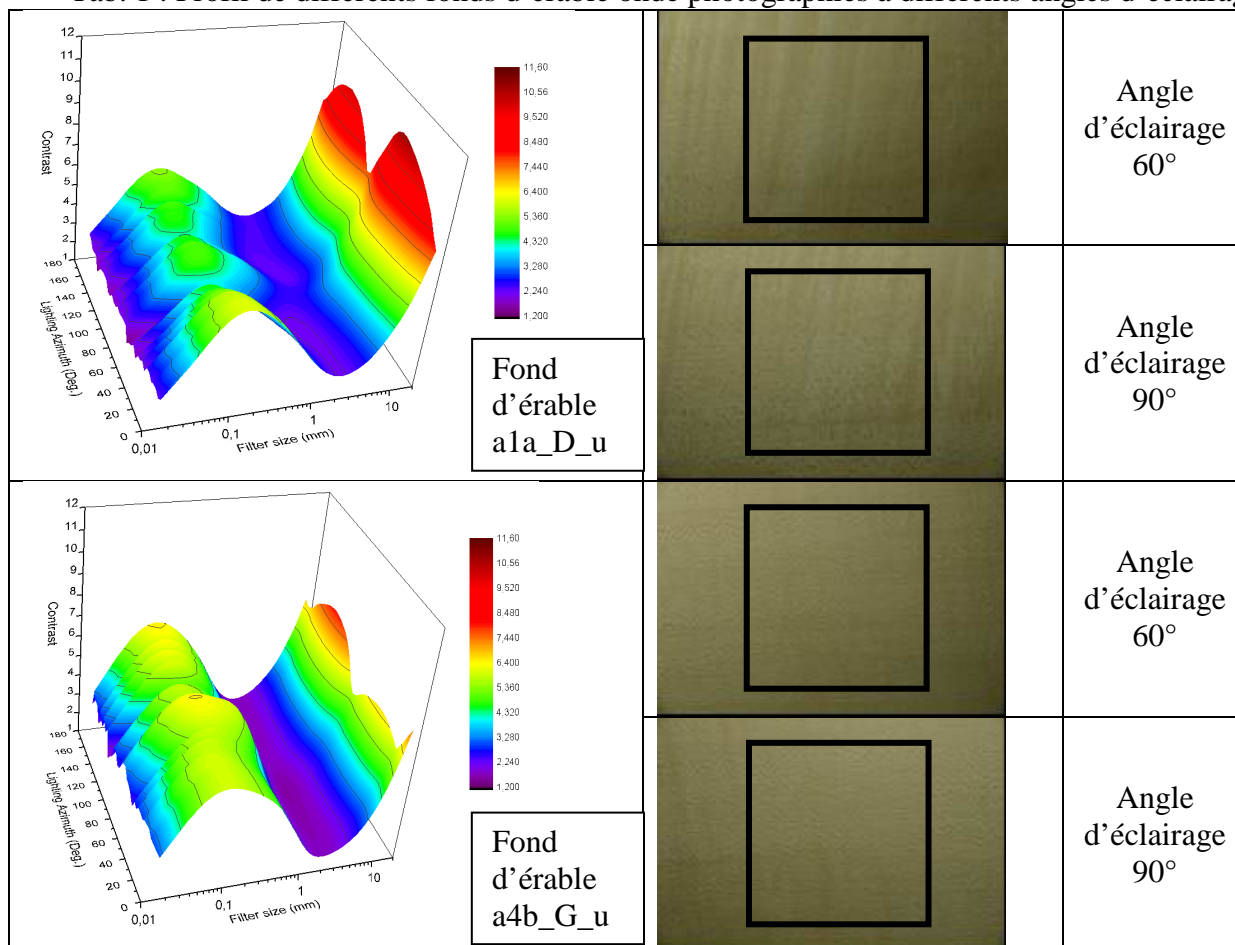
prend en compte qu'une zone centrale de dimensions 60*60mm afin d'éliminer les effets de bords de l'éclairage.

Puis, à partir de la construction de mosaïques des images effectuées par plusieurs filtres les différences de contrastes locaux sont calculées pour chaque taille de filtre.

Premiers résultats

Un graphique représentant les tailles de filtres, l'angle d'éclairage et le maximum de contraste local nous a permis d'établir un profil pour chaque fond (Tableau 1). Ces profils permettent la caractérisation des ondes et des mailles.

Tab. 1 : Profil de différents fonds d'érable ondé photographiés à différents angles d'éclairage



Conclusion

Les choix des luthiers pour les fonds des violons sont en partie basés sur des critères esthétiques d'ondes et de mailles. Cette étude a montré les particularités des fonds de résonance les uns par rapport aux autres. Nos futurs travaux s'organiseront autour d'une expérience d'évaluation psychosensorielle de planches de bois de lutherie. Ces tests mis en parallèle avec les profils obtenus permettront de caractériser les préférences esthétiques des luthiers en matière d'ondes et de mailles de l'érable ondé.

Références

Nakamura, M., Masuda, M., Shinohara, K. (1999) Multiresolutional image analysis of wood and other materials, J. Wood Sci., Vol. 45, pp. 10–18.

Mots-clefs: Erable ondé, Epicéa, Figure du bois, Propriétés mécaniques et acoustiques, Structure du bois, Caractérisation des ondes et mailles, Paramètres de cernes.

Remerciements

Ces travaux ont été effectués dans le cadre d'un séjour d'été de *Japanese Society for the Promotion of Science* (JSPS).

B13

Étude expérimentale et numérique du comportement hygromécanique d'un panneau de bois. Application à la conservation des tableaux peints sur bois du patrimoine.

GAUVIN Cécilia¹, JULLIEN Delphine¹, DUPRE Jean-Christophe², DOUMALIN Pascal²,
OBATAYA Eiichi³, GRIL Joseph¹

¹Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil (LMGC)
CNRS UMR 5508, Université Montpellier 2, France

²Institut Pprime, UPR 3346, CNRS, University of Poitiers, Poitiers, France

³Laboratory of Biomaterials Engineering,
Graduate School of Life and Environmental Sciences, Tsukuba University, Japan
cecilia.gauvin@univ-montp2.fr

Contexte de l'étude

De nombreux objets en bois ancien posent des difficultés de conservation et de restauration. En plus des problèmes liés au vieillissement naturel du bois, la conservation et la restauration des panneaux peints sont des exercices délicats de mise en œuvre, à cause des phénomènes complexes d'échanges hydriques asymétriques entre la couche picturale et le revers du tableau. Les restaurateurs du patrimoine ont cherché à éliminer la courbure du panneau par humidification et pression progressive afin de renforcer et aplanir le panneau ; ou encore simplement en termes d'acte de restauration par amincissement du revers du tableau puis collage sur un support rigide. Entre manipulations malheureuses et stockage dans des conditions non contrôlées, cela a eu pour conséquence l'écaillage et la perte partielle de la couche picturale de certains d'entre eux, sans oublier l'initiation de fissures. En effet, les objets du patrimoine que nous manipulons sont des témoins précieux à la fois d'un art, d'une époque et d'un comportement à long terme du matériau considéré.

Simulations numériques

Afin d'aider au mieux les acteurs du patrimoine à prédire le comportement des panneaux de bois peints, nous adaptons des outils numériques de simulation d'échanges hydriques et de chaleur (Perré, 1999) à cette problématique. Nous pouvons donc décrire les gradients d'humidité et de chaleur dans une planche 3D lors d'une variation d'humidité relative et/ou de température.

Caractérisation du vieillissement du bois

Le lien avec le matériau a été conservé. Nous avons pu étudier les propriétés physiques et hygromécaniques du vieux bois. En effet, le bois ancien possède des caractéristiques en termes de retrait/gonflement ou encore d'humidité d'équilibre différent d'un bois fraîchement coupé (Obataya, 2007, Matsuo, 2011). La question est comment reproduire de façon accélérée les propriétés du vieux bois sur du bois non vieilli ? Effectivement si nous arrivons à reproduire ce matériau spécial qu'est le vieux bois et qui compose notre objet d'étude, le panneau peint, nous pouvons alors adapter nos modèles hygromécaniques. Nous avons donc effectué une série de traitements hygro-thermiques afin d'accélérer le « vieillissement » du bois. Puis, nous comparons les différences de propriétés physiques avant et après traitement.

Expérimentation sur réplique de panneau peint

Le sujet du comportement des panneaux peints a déjà été étudié auparavant (Marcon, 2009, Colmars, 2011 et Froideveaux, 2012). Ces auteurs ont mis en évidence des mécanismes

mécanosorptifs et ont établis des modèles de comportement adaptés aux panneaux peints. La question, maintenant, est de confirmer ces modèles par des expérimentations. Nous avons donc choisi de reproduire étape par étape la fabrication d'un panneau peint : de la planche à la contrainte finale des renforts sur le panneau. À chacune de ces étapes, le comportement hygromécanique de l'objet est mesuré par méthode de corrélation d'image (Gauvin, 2014).

Références

- Colmars, J. (2011) Hygromécanique du matériau bois appliquée à la conservation du patrimoine culturel: Étude sur la courbure des panneaux peints. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2.
- Froidevaux, J. (2012) Wood and paint layers aging and risk analysis of ancient panel painting, PhD, Université Montpellier 2.
- Gauvin, C., Jullien, D., Doumalin, P., Dupré, J.-C. and Gril, J. (2014) Image correlation to evaluate the influence of hygrothermal loading on wood. *Strain*, Vol 50, Issue 5, p. 428.
- Marcon, B. (2009) Hygromécanique des panneaux en bois et conservation du patrimoine culturel. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2, Università degli studi di Firenze.
- Matsuo et al. (2011) Aging of wood: Analysis of color changes during natural aging and heat treatment, *Holzforschung*, pp. 65:361.
- Obataya, E. (2007) Characteristics of aged wood and Japanese traditional coating technology for wood protection", Actes de la journée d'étude Conserver aujourd'hui : les "vieillissements" du bois – Cité de la Musique.
- Perré P. and Turner I. W. (1999) A 3-D version of TransPore: a comprehensive heat and mass transfer computational model for simulating the drying of porous media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 42, no. 24, pp. 4501-4521.

Mots-clefs : bois, corrélation d'image, hygromécanique, panneaux peints, transfert masse et chaleur, caractérisation du vieillissement.

Remerciements

Je tiens à remercier Eiichi Obataya pour m'avoir accueillie dans son laboratoire au Japon dans le cadre d'un séjour d'été de *Japanese Society for the Promotion of Science* (JSPS), et Patrick Perré pour nous avoir ouvert librement son code de calcul de transfert hydrique et chaleur : Transpore.

B14

Management de la qualité & Recherche : Brimade ou cercle vertueux ?

THEVENON Marie-France¹, PIGNOLET Luc¹, CANDELIER Kevin¹,
 ARVANITAKIS Laurence¹, GUYOT Alban¹, GALLET Philippe¹, MARTIN Luc¹

¹Laboratoire de préservation du bois, UR114, CIRAD, Montpellier, France

marie-france.thevenon@cirad.fr

Résumé

Le laboratoire de préservation du bois a mis en place un système de management de la qualité à la demande des industriels de la filière bois, ces mêmes industriels souhaitant pouvoir utiliser leurs rapports d'essais pour la mise en marche et/ou certification de leurs produits/procédés de protection du bois.

Ainsi, le laboratoire élaboré un système permettant de gérer la conduite d'essais normalisés et d'assurer la traçabilité des résultats d'essai. La méthode dite des « 5M » a été utilisée (Figure 1), le système de management a été dimensionné à l'échelle du laboratoire de manière la plus simple possible. L'accréditation (portée B) par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC) selon la norme ISO 17025 a été obtenue en 2006.

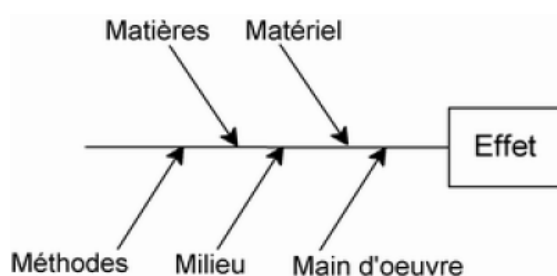


Fig. 1 : Diagramme d'Ishikawa ou diagramme de cause à effet (dit des « 5M »)

Ce poster a pour but de montrer que le management de la qualité dans un laboratoire de recherche n'est en aucun cas un frein à la créativité et aux activités de recherche, mais un support intéressant pour toute personne intervenant dans le laboratoire : chercheur, doctorant, stagiaire...

De plus, la démarche d'amélioration (figure 2) permet :

- D'utiliser un savoir-faire développé pendant un projet de recherche pour étendre le domaine d'accréditation ;
- D'assurer la traçabilité des résultats d'essais contractualisés avec l'industrie et de recherche ;
- De pérenniser le savoir-faire d'un laboratoire, même lors des départs/arrivées de personnels.

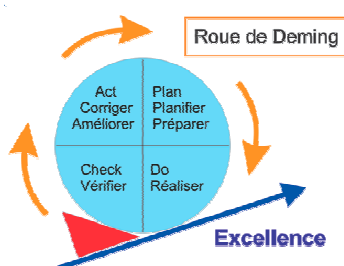


Fig. 2 : Schéma de l'amélioration continue ou roue de Deming

Mots-clés : Laboratoire, management de la qualité, recherche, amélioration continue.

B15

Moyens de contrôle et/ou de prédiction de qualité des bois modifiés thermiquement

CANDELIER Kevin¹, HANNOUZ Simon², ELAIEB Mohamed³,
COLLET Robert², DUMARÇAY Stéphane⁴, PÉTRISSANS Amélie⁴,
GÉRARDIN Philippe⁴, PÉTRISSANS Mathieu⁴

¹CIRAD-Unité de Recherches BioWooEB, TA B 114/16, Montpellier, France

²LaBoMaP, Arts et Metiers ParisTech, Rue Porte de Paris, F-71250 Cluny, France

³LGVRF, INRGREF, B.P. 10, 2080 Ariana, Tunisia

⁴Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois, EA 4370,
Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy, France.

kevin.candelier@cirad.fr

Résumé

Le bois traité thermiquement connaît depuis quelques années un essor important du fait de son caractère non biocide et du faible impact environnemental du procédé. Ce type de traitement est principalement utilisé pour améliorer la stabilité dimensionnelle et la résistance fongique du bois. Ces propriétés biologiques et dimensionnelles ainsi que l'affaiblissement de caractéristiques mécaniques qui lui sont conférées sont fortement liés à sa dégradation thermique, laquelle dépend des conditions et de l'intensité du traitement (couple temps-température). De nombreux travaux ont montré que la perte de masse du bois engendrée par ce procédé se trouve être l'un des meilleurs indicateurs du niveau de dégradation thermique du matériau (Gunduz *et al.* 2009, Nguila *et al.* 2009, Chaouch *et al.* 2010). Cette perte de masse s'est également révélée être un bon moyen d'estimation de la durabilité conférée au bois modifié. Un tel indicateur pourrait permettre d'optimiser les paramètres du procédé en fonction de la qualité finale du produit désiré et, ainsi, de contrôler sa qualité (durabilité, propriétés mécaniques,...). Néanmoins, il reste très difficile de réaliser une telle mesure à l'échelle industrielle. L'objectif de ce travail est donc d'étudier les relations entre les cinétiques de thermodégradation du bois, fournies directement par le pilote, au cours du procédé de traitement, et les propriétés conférées aux matériaux obtenus. Différents traitements ont été réalisés sous vide et par conduction via des plaques métalliques chauffantes, à une température de 230°C, jusqu'à obtenir des pertes de masse sur bois anhydre (ML%) de 8, 10 et 12 %. Ce type de procédé par conduction permet, entre autres, d'obtenir un traitement homogène sur la globalité de la planche de bois. Les traitements ont été réalisés sur le Chêne Zeen (*Quercus canariensis*), le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), Pin Radiata (*Pinus insignis*), et Pin Maritime (*Pinus pinaster*).

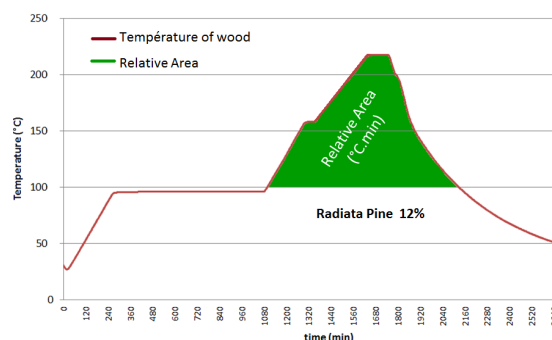


Fig.1 : Exemple Aire sous la courbe de température du bois en fonction de la durée du traitement thermique

Chaque essai a été répété 3 fois sur des échantillons de taille semi-industrielle 11 x 65 x 2.5 cm (L x R x T). Pour chaque expérience, l'aire sous la courbe de température du bois a été calculée (Figure 1), des analyses de composition élémentaire (taux de carbone et d'oxygène) ainsi que des tests de durabilité fongique et de résistance mécanique ont été réalisés sur les bois.

Les résultats montrent que l'aire relative située sous la courbe de température constitue à la fois :

- un bon indicateur du niveau de thermodégradation du bois (Figure 2a),
- un moyen de contrôle qualité susceptible d'être mis en place à une dimension industrielle permettant ainsi d'évaluer rapidement la durabilité (Figure 2b) et la résistance mécanique du bois traité (Figure 3).

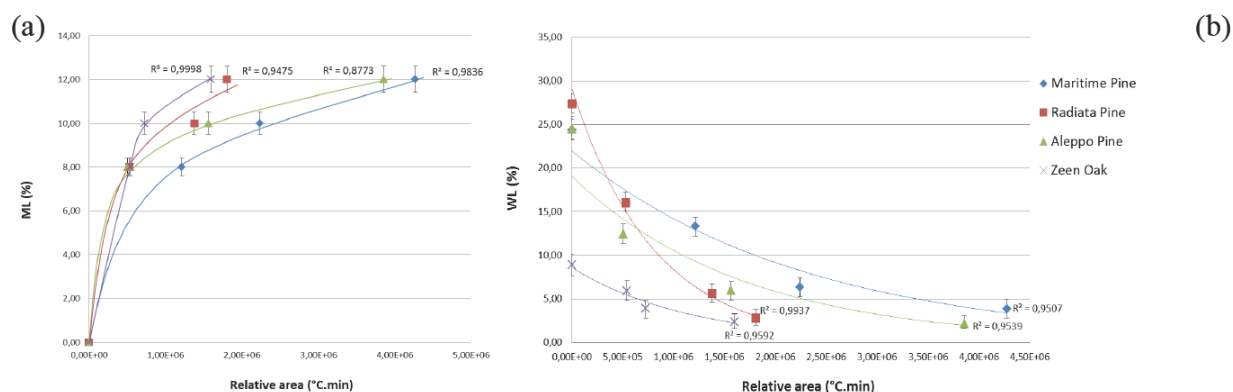


Fig.2 : Corrélations entre l'aire sous la courbe, la perte de masse - ML% (a) et la durabilité fongique - WL% (b).

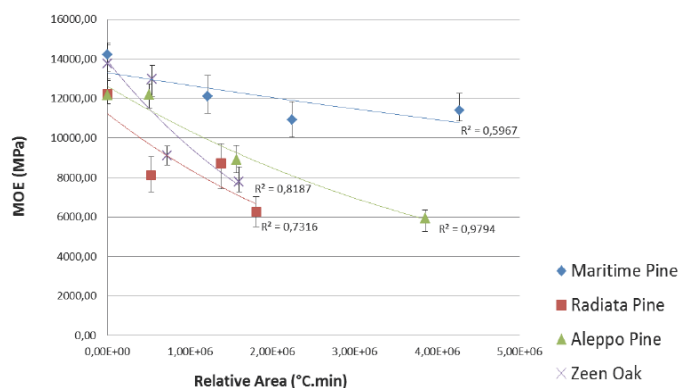


Fig.3 : Corrélations entre l'aire sous la courbe et la résistance mécanique (MOE en flexion 3 pts)

Ce travail préliminaire, réalisé en pilote de laboratoire pourrait être répété chez un industriel afin de vérifier ces différentes corrélations mises en évidence et de confirmer le fait que l'aire sous la courbe pourrait être un moyen fiable de contrôle du procédé et de prédiction de la qualité des bois modifiés thermiquement.

Références

- Chaouch M.; Pétrissans M., Pétrissans A.; Gérardin P. 2010, Use of wood elemental composition to predict heat treatment intensity and decay resistance of different softwood and hardwood species. *Polymer Degradation and Stability* 95: 2255-9.
- Gunduz G.; Aydemir D.; Karakas G. 2009, The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials and Design* 30: 4391-4395.

Nguila Inari G.; Pétrissans M.; Pétrissans A.; Gérardin P. 2009, Elemental composition of wood as a potential marker to evaluate heat treatment intensity. *Polymer Degradation and Stability* 94: 365-8.

Mots-clés : traitement thermique, perte de masse, contrôle qualité, durabilité, propriétés mécaniques.

B16**New preservative glue line based on tannin autocondensation**

EFHAMISISI Davood^{1,3}, THEVENON Marie-France¹, PIZZI Anotonio²,
HAMZEH Yahya³, KARIMI Ali³, POURTAHMASI Kambiz³

¹Wood preservation laboratory, UR40, CIRAD, Montpellier, France

²ENSTIB-LERMAB, Nancy University, Epinal, France

³Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

davod.efhami@gmail.com

Introduction

Condensed tannins are excellent renewable alternatives to overcome on drawbacks of formaldehyde based wood adhesives. Pizzi (2006) showed tannin adhesive systems based on tannin autocondensation are adequate for interior grade gluing. Although, limitations of pressing time remain because of slow autocondensation rate of the tannins. Autocondensation of various tannins has been found to be induced by weak Lewis acids such as silica and boric acid (Meikleham et al. 1994). The aim of our study is to bring more information on the effect of adding boric acid on thermomechanical characteristics of tannin adhesive and bonding quality as well as panel durability against fungi and termite.

Material and Methods

Different formulations were made with quebracho tannin, NaOH, hexamine, boric acid and polymeric isocyanate (PMDI). Modulus of elasticity (MOE) of each adhesive was measured with thermal mechanical analyzer using Mettler TMA 40. Three plywood poplar panels (3 plies, 6mm total thickness) were made with each adhesive (press conditions: 1.2 N/mm², 150°C, 6 min). Tensile shear tests were carried out according to EN 314-1:2004. The specimens were divided into two subgroups for the different pre-treatments, prior to testing: 1- dry condition 2- 24 hours soaking in water. The standard references for efficacy tests against termites were conducted based on EN 118 (2005) and EN117 (2005). Termites of the species *Reticulitermes santonensis* were collected on Oleron Island (France) and transported to the laboratory. The plywood samples (50×50×6 mm³) were tested for resistance to Fungal attack according to the EN 12038 standard method (2003) against *Trametes versicolor* (White rot) grown on malt/agar medium (malt 40g/l, agar 20g/l). All specimens were sterilized by gamma radiations prior to fungal exposure.

Result and discussion

Thermomechanical analysis of control adhesives (without boric acid) showed maximum Young's modulus values increased with increasing tannin initial concentration from 40% to 50% (m/m), while no significant effect has been found by adding PMDI. The addition of boric acid lowered time and temperature of the hardening. It has been noticed that maximum Young's modulus values of the adhesive increased by adding boric acid from 2% to 4% based on the solid content of the tannin. Tensile shear strength of the plywoods confirmed thermomechanical previous results. Tensile shear values did not meet EN 314-2 requirements for interior plywood classification without boric acid systems. Boric acid significantly increased tensile shear values which had ascending trend with increasing boric acid and tannin concentration. The effect of adding PMDI resin to the tannin glue was not notable and there was not statistically significant difference by adding PMDI. The current study indicates that poplar plywoods made with adhesive containing 50% quebracho tannin and 2-4% boric acid meet the performance requirements for interior applications. One of the most significant findings to emerge is that adding 20% PMDI has not significant effect on glue properties. The findings of this study suggest that PMDI is not required for interior application.

Also testing with fungus showed that induced adhesive by boric acid enhanced markedly plywood panel durability. Although the result of termite tests showed to some extent better durability in containing boric acid panels but our finding did not support full resistance against termite by current standard methods.

Références

EN 117: (2005) Wood preservatives – Determination of toxic values against *Reticulitermes* species (European termites) (Laboratory method).

EN 118: (2005) Wood preservatives – Determination of preventive action against *Reticulitermes* species (European termites) (Laboratory method).

EN 314-1: (2004) Plywood, Bonding quality, Part 1: Test methods.

EN 12038: (2003) Durability of wood and wood-based products– Wood-based panels – Method of test for determining the resistance against wood-destroying basidiomycetes.

EN 314-2: (1993) Plywood, Bonding quality, Part 2: Requirements.

Meikleham N, Pizzi A, Stephanou A., (1994). Induced Accelerated Autocondensation of Polyflavonoid Tannins for Phenolic Polycondensates I. ¹³C-NMR, ²⁹Si-NMR, X-ray, and Polarimetry Studies and Mechanism. *Journal of Applied Polymer Science*, 54 (12): 1827–1845.

Pizzi, A., (2006) Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20(8): 829–846.

Keywords : Autocondensation, boric acid, fungal and termite test, plywood, quebracho tannin, tensile shear, thermomechanic.

B17

Fire properties of tannin-boron treated wood with montmorilloniteHU Jinbo¹, THEVENON Marie-France¹, TONDI Gianluca²¹Wood preservation laboratory, UR114, CIRAD, Montpellier, France²FHS, Universität Salzburg, Autrichejinbo.hu@cirad.fr**Introduction**

Tannin-boron formulations used to treat wood have shown their efficacy to protect timber against decay (Tondi et al., 2012) and act as fire retardants (Tondi et al., 2014). Nevertheless, even if fireproofing properties of such treated wood has been demonstrated, this system is perfectible. The aim of this work is to investigate on the benefit on fire resistance, when adding silicates to this formulation (Beyer et al., 2005). In this study, montmorillonite is used to act as an organic layered-silicate filler and its impact on the fire proofing properties have been evaluated.

Material and Methods

Raw Na-Montmorillonite (China) was modified using hexadecyl trimethyl ammonium bromide in order to obtain organo-modified montmorillonite (OMMT). OMMT was dried at 60°C and grinded to 200 mesh-size and added to tannin-boric acid solutions (Tondi et al., 2012).

Scot pine (*Pinus sylvestris*) sapwood samples of various dimensions were dried at 103°C vacuum-pressure treated with tannin-boron-montmorillonite solutions. The treated specimens were dried at 103°C to allow tannin resin to harden, and then conditioned at 20°C; 65% RH prior to fire testing.

Treated and control specimens were used for short-time and long-time exposure fire tests, and cone calorimeter test. Ignition, flame, ember time, as well as weight loss of the samples were measured. For the cone calorimeter test, initial peak of heat release rate (pk-HRR), average heat release rate (av-HRR), specific extinction area (SEA), and CO yield were evaluated.

Result and discussion

The simplified lab-scale tests (short and long time exposure) both show that treated has an increased fire resistance compared to controls. For the treated samples, the ignition time of is significantly increased, the flame penetrates with more difficulties, and the efficacy of ember time is reduced (red spots and fumes are present for a shorter time compared to control). The weight loss of the treated samples in the long-term exposure experiment is also significantly reduced compared to control.

These previous tests give a general behavior of the treated samples against fire. The cone calorimeter monitored a more comprehensive set of data. Ignition time, as well as pk-HRR and av-HRR, confirm that the treatment with tannin-boron-montmorillonite is a fire retardant system. However, if specific extinction area is reduced for treated wood, mass loss rate is higher than for control in this experiment.

These results illustrate that tannin-boron-montmorillonite system can improve largely fire resistance of the timber, even if fire-proofing capabilities can still be improved.

Références

Beyer, G (2005). Nanocomposites offer new way forward flame retardant. *Plastics, additives and compounding*, 7(5), 32-35.

Tondi G., Palanti S., Wieland S., Thevenon M.F., Petutschnigg A., Schnabel T. (2012). Durability of tannin-boron-treated timber. *Bioresources*. 7(4), 5138-515.

Tondi G., Haurie L., Wieland S., Petutschnigg A., Lacasta A., Monton J. (2014). Comparison of disodium octaborate tetrahydrate (DOT) and tannin-boron based formulations as fire retardant for wood structures. *Fire and Materials*. 38(3), 381-390.

Keywords : Tannin, boron, montmorillonite, chemical network, fire properties.

B18

Comportement de bois d'*Eucalyptus* au cisaillement par méthode ultrasonore

REIS DE ASSIS Maira^{1,2}, BRANCHERIAU Loïc¹,
NAPOLI Alfredo¹, TRUGILHO Paulo Fernando²

¹CIRAD - Research Unit Biomass, Wood, Energy, Bioproducts
TA B-114/16 – Rue Jean-François Breton 34398 – Montpellier, France

²Université Fédéral de Lavras/UFLA
Département de Sciences Forestiers
Boîte aux lettres - 3037 – 37200-000 Lavras, Minas Gerais, Brésil
maira.reis_de_assis@cirad.fr

Contexte et Méthodologie

Les résultats présentés ici font partie de la première étape d'une étude ayant pour objectif les effets des propriétés physico-mécaniques du bois et les différentes conditions de pyrolyse sur la résistance mécanique du charbon obtenu. La résistance mécanique des lits de charbon dans le contexte brésilien des hauts fourneaux sidérurgiques est prépondérante pour la qualité du fer produit.

L'objectif était de déterminer les modules de cisaillement du bois d'*Eucalyptus* par méthode non destructive ultrasonore. Les échantillons de bois, au nombre de 88, avaient pour dimensions 30 x 30 x 30 mm (R, T, L). Ils étaient issus de 44 arbres de 6 ans du clone commercial GG100 (hybride d'*Eucalyptus urophylla* ST Blake). Afin d'estimer les modules de cisaillement dynamiques (G), les éprouvettes de bois ont été stabilisées à l'humidité théorique de 12% (densité moyenne de 555 kg.m⁻³) puis testées avec un dispositif ultrasonore conçu au Cirad (500 kHz en transmission, détection par le premier pic positif), dans les trois plans (Fig. 1) : longitudinal-radial (G_{LR}), radial-tangentiel (G_{RT}) et tangentiel-longitudinal (G_{TR}).



Fig. 1 : Essai ultrasonore de cisaillement en transmission (500 kHz)

Résultats

Le tableau 1 montre l'effet de la position radiale (interne et externe) sur les modules de cisaillement (test t de Student). Il est observé que l'effet de la position radial est significatif (au risque de 5%) pour le module G_{RT} et G_{LR}. Les valeurs de G sont plus fortes vers le cœur qu'en périphérie.

Tab. 1 : Test des moyennes pour les modules de cisaillement aux trois sens sur le bois d'*Eucalyptus*

Position radial	G _{RT} (MPa)	G _{TL} (MPa)	G _{LR} (MPa)
Intérieur	229 a	719 a	1090 a
Extérieur	200 b	705 a	1021 b

* Les valeurs suivies par la même lettre à la verticale ne diffèrent pas de manière significative par le test t de Student au risque de 5%.

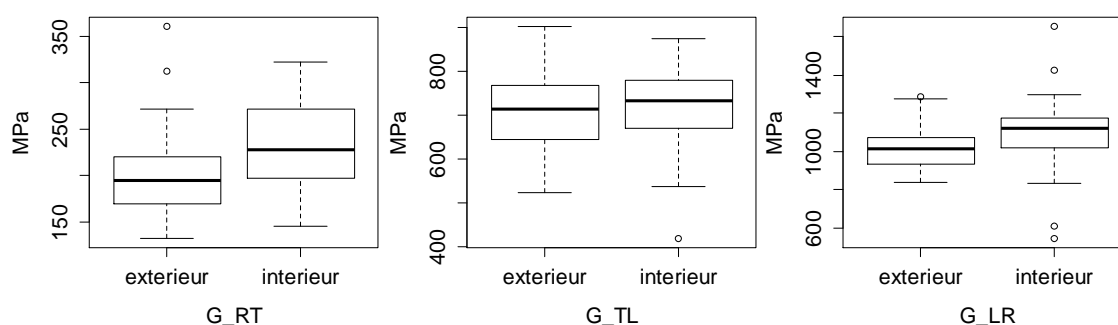


Fig. 2 : Dispersion des trois modules de cisaillement selon la position radiale

Les valeurs de module de cisaillement dans les trois plans ont des moyennes respectives de 215 MPa (de 132 à 361 MPa) en RT ; de 712 MPa (417 à 903 MPa) en TL ; et de 1055 MPa (546 à 1655 MPa) en LR. D'après Guitard (1987) pour le modèle « feuillus » (densité moyenne des échantillons testés de 556 kg.m^{-3}) des valeurs voisines de 178 MPa en RT, 577 MPa TL et 749 MPa LR, sont attendues. Hein et al. (2012), avec des clones hybrides d'*Eucalyptus grandis* x *urophylla* (densité moyenne de 518 kg.m^{-3}), a trouvé une valeur de 694 MPa en LR. Les valeurs obtenues dans notre étude (Fig. 2) était compatibles avec les valeurs attendues pour le bois ($G_{LR} > G_{TL} > G_{RT}$) et sont du même ordre de grandeur que celles obtenues dans la littérature, exceptée pour le plan LR où la valeur moyenne est plus élevée. Les ratios d'anisotropie entre les modules ($G_{LR}/G_{TL} = 1,5$; $G_{LR}/G_{RT} = 4,9$) restent cependant cohérents et du même ordre de grandeur que ceux déduits du modèle « feuillus » ($G_{LR}/G_{TL} = 1,3$; $G_{LR}/G_{RT} = 4,2$). Astley et al. (1998), lors de l'étude des propriétés élastiques de bois de conifères, ont montré que les valeurs de G_{LR} et G_{TL} sont très influencées par l'orientation des angles des microfibrilles. Cette observation doit être vérifiée dans le cas particulier de cette étude.

Références

- Astley R. J., Stol K. A., Harrington J. J. (1998) Modeling the elastic properties of softwood – Part II: the cellular microstructure. *Holz Roh- Werkst* 56:43–50.
- Guitard D. (1987) Mécaniques du matériau bois et composites. CEPADUES, 238 p.
- Hein P. R. G., Lima J. T., Gril J., Rosado A. M., Brancheriau L. (2012) Resonance of scantlings indicates the stiffness even of small specimens of *Eucalyptus* from plantations. *Wood Science Technology* n. 46, p. 621–635.

B19

Analyse de méthodes statistiques en traitement du signal pour les tomographies acoustique et ultrasonore des arbres sur pied

ARCINIEGAS Andrés¹, BRANCHERIAU Loïc², LASAYGUES Philippe¹

¹CNRS, LMA UPR 7051, Marseille, France

²CIRAD, UR BioWooEB – UMR AMAP, Montpellier, France

arciniegas@lma.cnrs-mrs.fr

Introduction

La tomographie acoustique est une méthode d'imagerie permettant de réaliser des cartographies bidimensionnelles des objets en fonction des paramètres des ondes élastiques de basse fréquence (<20 kHz). Dans le cas spécifique de la tomographie des arbres, les images obtenues sont proportionnelles à la vitesse (ou à la lenteur) de propagation des ondes dans le plan radial-transverse. La qualité de ces images, et la capacité associée à l'analyse et l'interprétation des phénomènes d'interaction onde/arbre, dépendront de plusieurs facteurs : la fréquence des ondes émises, le rapport signal sur bruit des signaux, le nombre de capteurs utilisés pour un balayage et l'algorithme de reconstruction d'image.

Verrous Scientifiques

Les images couramment obtenues avec les appareils commerciaux possèdent une résolution spatiale faible (de l'ordre de quelques centimètres) ; les images étant parfois difficiles à interpréter. La résolution spatiale est limitée par l'utilisation d'une gamme de fréquence proche de l'audible, le faible nombre de sondes et la non-prise en compte des propriétés du matériau bois (anisotropie, hétérogénéité). À ce jour, il n'existe pas d'appareils de terrain utilisant les ultrasons, spécialement adaptés à l'imagerie des arbres sur pied. Tenant compte des limitations mentionnées, on présente ici des résultats d'études comparatives cherchant à améliorer la qualité des images tomographiques (Arciniegas et al., 2014 ; Arciniegas et al.).

Faits Marquants

Dans un premier temps, nous présentons une comparaison des méthodes de traitement du signal pour la mesure du temps de propagation. L'approche développée a permis de sélectionner les méthodes de traitement du signal en caractérisant les erreurs systématiques et aléatoires induites en fonction du niveau de bruit (Figs.1-2, Arciniegas et al. (2014)). Dans un deuxième temps, une étude numérique de la robustesse d'algorithmes de reconstruction est proposée. Deux nouveaux algorithmes de reconstruction sont présentés et comparés à deux algorithmes classiques utilisés dans les systèmes commerciaux. La comparaison de ces algorithmes est axée sur les critères liés aux contraintes expérimentales (faible nombre de sondes sous des conditions de bruit) et aux exigences techniques (faible temps de calcul) (Figs. 3-4, Arciniegas et al.).

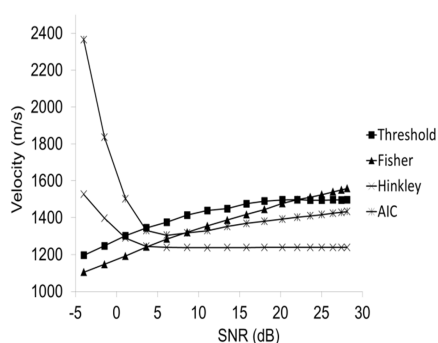


Fig. 1 : Vitesse moyenne des ultrasons dans l'Iroko en fonction du niveau de bruit

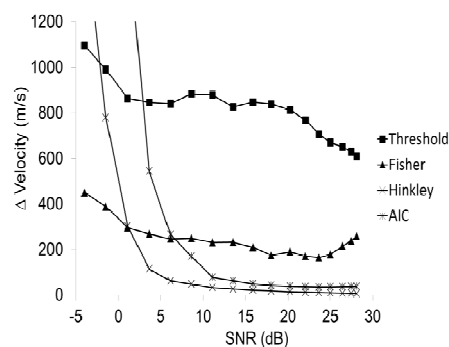


Fig. 2 : Erreur de mesure de la vitesse des ultrasons dans l'Iroko en fonction du niveau de bruit

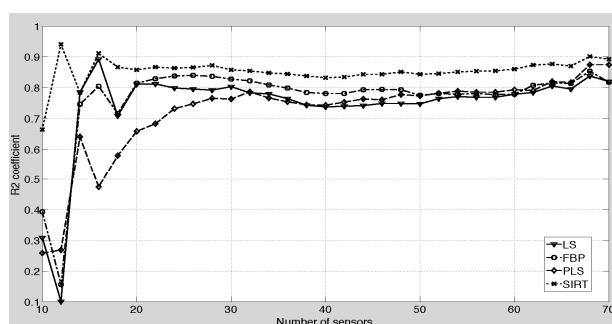


Fig. 3 : Coefficient R^2 entre les sinogrammes (du fantôme et des images reconstruites) en fonction du nombre de sondes

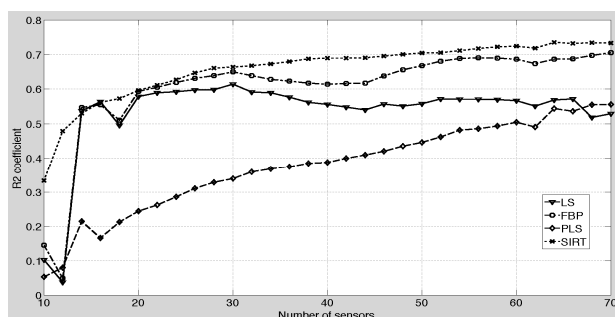


Fig. 4 : Coefficient R^2 entre les pixels (du fantôme et des images reconstruites) en fonction du nombre de sondes

Références

- Arciniegas, A., Brancheriau, L., & Lasaygues, P. (2014a). Tomography in standing trees: revisiting the determination of acoustic wave velocity. *Annals of Forest Science*, pp. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s13595-014-0416-y>.
- Arciniegas A., Brancheriau L., Gallet P., and Lasaygues P.. Travel-time ultrasonic computed tomography applied to quantitative 2-D imaging of standing trees: a comparative numerical modeling study. *Acta Acustica United with Acustica*. Accepté pour publication.

B20

Influence du traitement des coques de noix de palme sur les propriétés physico-mécaniques des bétons légers

TRAORE Yasmine¹, MESSAN Adamah¹, TSOBNANG François^{1,2}, GERARD Jean³

¹Laboratoire Eco Matériau de Construction (LEMC),
(2iE) 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso

²Institut Supérieur des matériaux et mécaniques avancés (ISMANS),
Avenue Frédéric Auguste Bartholdi, 72000 Le Mans, France

³CIRAD, Unité de Recherche Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits (BioWooEB),
73 rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

yasmineb.traore@gmail.com

Résumé

Les objectifs de ces travaux étaient de traiter des coques de noix de palme par différentes solutions (lait de chaux, silicate de sodium) et d'étudier le comportement d'un béton léger à base de ces coques de noix de palme traitées. Des essais physiques et/ou mécanique réalisés sur les coques et le béton léger indiquent une réduction de l'absorption d'eau et une amélioration de la résistance à la compression de près de 20% dans le cas du traitement à la chaux.

Introduction

Utiliser certains résidus agricoles devient une alternative intéressante pour résoudre les problèmes aussi bien techniques qu'environnementaux actuels tels que l'épuisement des sols et granulats classiques, la modification de la morphologie des sols et du paysage et la pollution par les déchets agricoles. Les Coques de noix de palme (CNP) par exemple, sous-produits d'extraction de l'huile de palme, peuvent être utilisées en substitution totale ou partielle des granulats dans le béton. La valorisation de ce matériau biosourcé permet de produire un béton léger dont l'utilisation induit une réduction considérable de la charge morte des bâtiments. Cependant l'une des principales limites des CNP est leur grande porosité qui leur confère une capacité importante d'absorption d'eau. Une des solutions à cette limite réside dans le traitement des coques de noix de palme avant leur utilisation dans le béton. Ces traitements préalables des CNP ont pour but de les rendre plus propres, de réduire leur capacité d'absorption, ou encore d'améliorer leur adhérence à la matrice cimentaire et par suite les propriétés mécaniques du béton.

Approche expérimentale

L'approche expérimentale a consisté dans un premier temps, au traitement des CNP par différentes solutions. Une solution de silicate de sodium avec une concentration de 100 kg.m^{-3} , et de lait de chaux dosée à 40 kg.m^{-3} ont été utilisées. Puis nous avons étudié la capacité d'absorption de ces coques après traitement.

Dans un deuxième temps, des séries d'éprouvettes cylindriques 10 cm x 20 cm sont réalisées avec les CNP traités ou non comme granulat dans le béton. Nous avons alors soumis le béton formulé à des essais mécaniques, afin de tester leur résistance à la compression.

Résultats obtenues

Les résultats obtenus concernant la capacité d'absorption des CNP avant et après traitements sont résumés dans le tab 1. Les éprouvettes de béton sont conservées dans de l'eau à température ambiante puis testées en compression après 14, 28 et 45 jours. Les résultats sont donnés dans la fig 1.

Tab. 1

DESIGNATION DES CNP	Cab (%)
Sans traitement	22,25
Traitées à la chaux	20,35
Traitées au silicate de sodium	22,10

DESIGNATION	RESISTANCE A LA COMPRESSION (MPa)					
	14 jours		28 jours		45 jours	
CNP nature	23,14	(±0,60)	26,33	(±0,79)	24,42	(±0,30)
CNP trtmt chaux	28,45	(±1,31)	28,90	(±2,54)	29,98	(±0,96)
CNP trtmt silicate	22,72	(± 2,86)	26,11	(±1,80)	23,57	(±1,80)

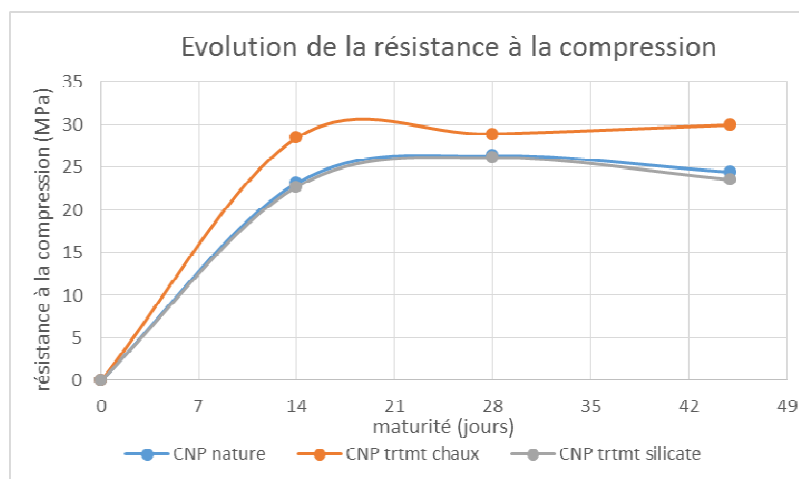


Fig 1 : Evolutions des résistances en compression dans le temps suivant différents traitements

Conclusion

Les expériences réalisées dans ce paragraphe nous ont permis d'observer certaines améliorations en fonction de la solution de traitement utilisée. Le traitement à la chaux a un effet sur l'absorption d'eau des coques avec une diminution d'environ 8% de l'absorption initiale.

Du point de vue résistance à la compression, alors que le traitement au silicate n'a pas d'influence sur le béton, la chaux améliore significativement la résistance du béton de CNP de près de 20%. Toutefois, les éléments observés ne permettent pas d'expliquer correctement ce phénomène. Nous pensons donc qu'une analyse de surface nous permettrait de comprendre ces différents comportements des coques de noix de palme dans le béton en fonction des traitements utilisés.

Mots-clés : coque de noix de palme, matériau de construction, béton léger, résistance mécanique.

B21

Essais de délamination sur des composites massifs de type carrelets trois plis fabriqués à partir de bois algérien

DERBAL Wassila¹, ZERIZER Abdellatif¹, GERARD Jean², GUIBAL Daniel²

¹Unité de Recherche Matériaux, Procédés, Environnement, Université de Boumerdès, Algérie

²Unité de Recherche Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits (BioWooEB), Cirad, Montpellier
derbalwassila@hotmail.fr

Résumé

La qualité des composites de type bois massif reconstitué est directement liée à la qualité des collages mis en œuvre qu'il est nécessaire de qualifier pour déterminer les gammes d'utilisations envisageables pour les produits finaux.

Les résultats présentés concernent un essai de délamination sur des composites massifs de type carrelets trois plis fabriqués à partir de 3 essences utilisées pures ou en mélange entre elles, Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), Chêne Afarès (*Quercus afares*), Chêne Zéen (*Quercus canariensis*) ; ces 3 essences sont très abondantes et présentent un fort potentiel d'exploitation dans la forêt Algérienne.

Ces essais ont permis de déterminer la qualité du collage des lamelles de bois entre elles. Dans un premier temps conduite sur des carrelets en essence pure et sur un mélange Pin d'Alep - Chêne Afarès avec une colle vinylique, l'étude a montré que la qualité du collage satisfait aux conditions d'une classe de service 1 (portes et fenêtres intérieures) mais est insuffisante pour une classe de service 2 (Produits abrités de la pluie - portes et fenêtres extérieures), le type de colle vinylique utilisé étant inadapté à ce type d'emploi.

Matériaux et méthodes

Sur les carrelets trois plis fabriqués, suivant les préconisations de la norme XP CEN/TS 13307-2 (2010), nous avons échantillonné des éprouvettes de 50x75x50mm le long de quatre profilé lamellés pour chaque type de produit : Pin d'Alep pur, Chêne Afares pur, Chêne Zéen pur et Pin d'Alep-Chêne Afares en mélange.

Selon cette norme, la résistance des collages est déterminée à l'issue d'un conditionnement spécifique pour chacune des 2 classes 1 et 2 :

Classe de service 1 : conditionnement dans une étuve ventilée,

Classe de service 2 : trempage dans un bain thermostat puis séchage dans une étuve ventilée.

Durant cet essai, les deux facteurs contrôlés sont la température du bain et de l'étuve, et le temps de conditionnement.

La qualité du collage est déterminée par le biais de la mesure des ouvertures des joints de collage à l'aide d'une jauge d'épaisseur 0,2mm.

La méthode de calcul du taux de délamination est décrite dans la norme de référence.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus :

Mv : masse volumique moyenne des carrelets (en kg/m³)

Dm : taux de délamination moyen (= moyenne des taux de délamination Di déterminés sur chaque éprouvette i, Di étant le rapport entre la somme des longueurs cumulées des joints ouverts sur les 2 sections transversales et la somme des longueurs cumulées des plans de colle sur les 2 sections transversales).

Dml : estimation haute du taux moyen de délamination, = $Dm + k \times S_D$ (S_D : écart-type ;

k = 0,31 pour 30 éprouvettes pour des essais initiaux)

Type de carrelet	Résultats des délaminations				
	Mv	Dm			Dml
		Classe 1	Classe 2	Classe 1	Classe 2
Carrelet Pin d'Alep pur	628	0	83,4	0	85,2
Carrelet Chêne Afarès pur	869	4,8	14,5	6,7	16,5
Carrelet Chêne Zéen pur	969	5,2	27,2	7,1	34,6
Carrelet mixte Pin d'Alep-Chêne Afarès	694	2,2	33,3	3,4	40,2

Résultats et discussions

L'analyse des taux de délamination moyens et des estimations hautes du taux moyen de délamination montre que le collage est satisfaisant pour les quatre types de carrelets testés.

Les valeurs obtenues sont supérieures aux valeurs seuils fixées dans la norme référence.

Le collage est parfait pour le carrelet en Pin d'Alep pur car le taux de délamination est nul (ainsi que par conséquent l'estimation haute du taux de délamination moyen).

Pour les carrelets en Chêne Afarès pur et en chêne Zéen pur, le collage est satisfaisant malgré les valeurs élevées de l'estimation haute de la moyenne Dml mais qui sont toujours inférieures à celles du rapport de collage.

Dans le cas de carrelet mélangé Pin d'Alep-Chêne Afarès, les résultats obtenus sont proches de ceux de carrelets en Pin d'Alep pur ce qui confirme le bon comportement du bois de Pin d'Alep dans le cas de collages à l'aide d'une colle vinylique en classe de service 1.

Pour la classe de service 2, les résultats négatifs obtenus sont liés à l'agressivité des conditions de séchage après le conditionnement en bain thermostaté.

Référence bibliographiques

BOURREAU DAMIEN, 2011. « Etude de faisabilité de lamellé-collé endémique en Guyane Française ». Thèse présenté à la faculté de génie civil de l'université des Antilles et de la Guyane, École doctorale pluridisciplinaire : Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques, Guyane-France, 44-55pages.

XP CEN/TS 13307-2, 2010. « Ébauches et profilés semi-finis en bois lamellé-collé et assemblés par entures multiples pour usages non structurels », partie 2 contrôle de production.

Mots-clés : Pin d'Alep, Chêne Afarès, Chêne Zéen, délamination, qualité de collage.

B22

Détermination des paramètres acoustiques des matériaux bio sourcés pour un usage en bâtiments

Cas d'application : bois de Pin d'Alep et liège algérien

LIMAM Amel¹, BAILHACHE Simon², QUENARD Daniel², ZERIZER Abdellatif¹

¹Université M'Hamed Bougara de Boumerdès UR-MPE Avenue de l'Indépendance, 35000 Boumerdès, Algérie

²CSTB, 24 Rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin d'Hères, France
limammaha@yahoo.fr

Introduction

Le bâtiment n'a commencé que récemment à prendre conscience du formidable potentiel des bios ressources et des réponses qu'elles sont en mesure d'apporter aux problématiques environnementales et les consommations abusives en matière d'énergie premières. Le secteur du bâtiment pesant particulièrement lourd dans le bilan environnemental mondial ce qui amène les bâtisseurs à placer le bâtiment durable et les bio-sources parmi les marchés d'avenir à encourager prioritairement. La lutte contre la gêne et les problèmes de santé occasionnés par les nuisances sonores dans le bâtiment, correspond à une demande très forte de la part des acteurs socio-économiques et scientifiques. [1] Dans ce travail, on a évalué les performances acoustiques (absorption acoustique et indice d'affaiblissement) de bois du Pin d'Alep, de liège et des assemblages composites du bois et de liège.

Le coefficient d'absorption acoustique (α)

En utilisant un tube de Kundt, la mesure du coefficient d'absorption acoustique α est réalisée selon la norme NF EN ISO 354 complétée par la norme NF EN ISO 11654 pour l'expression de l'indice unique α_w .

Les échantillons testés sont des composites obtenus on superposant deux échantillons de bois (soit entier ou lamellée collée) de section circulaire avec une inter couche de liège ayant une épaisseur de 40 mm.

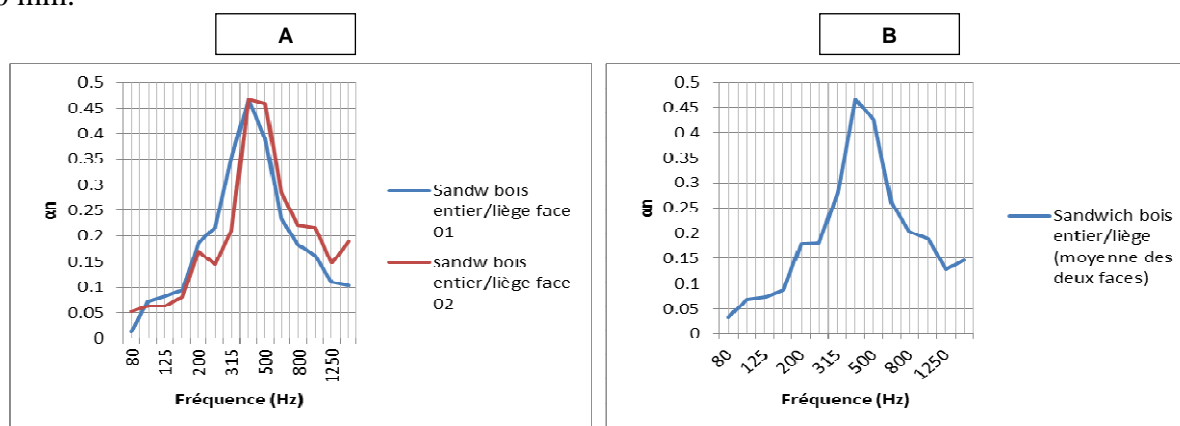


Fig. 1 : Coefficient d'absorption acoustique de sandwich BPA entier-LAN.

A) pour les deux faces de l'échantillon 01. B) Pour l'échantillon testé

Les assemblages sont moyennement absorbants, cela est expliqué par le premier contact des ondes avec la peau en bois qui est un faible absorbant.

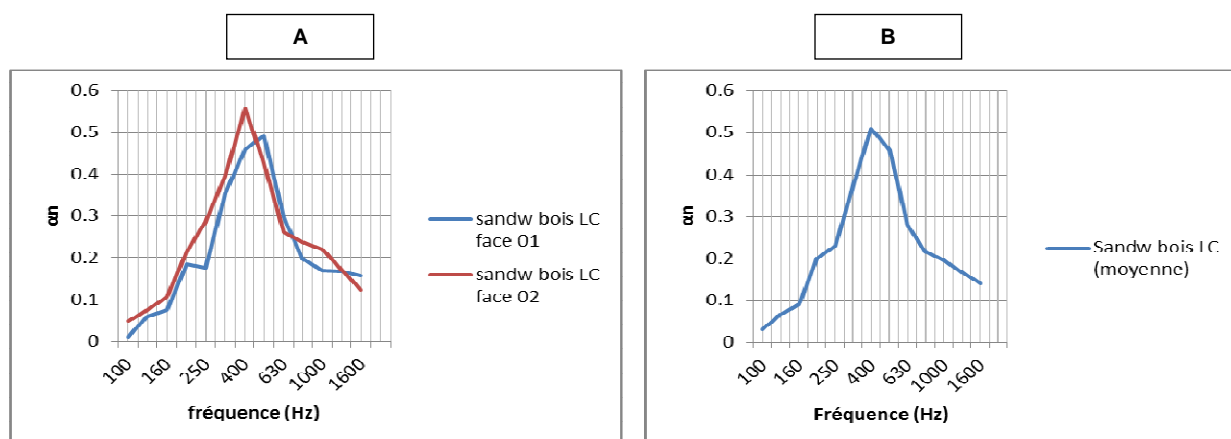


Fig. 2 : coefficient d'absorption acoustique de sandwich BPA LC/LAN.

A) pour les deux faces de l'échantillon 01. B) Pour l'échantillon testé

Indice d'affaiblissement acoustique (R)

Les performances acoustiques sont prédites en utilisant une méthode par matrice de transfert (TMM Transfer Matrix Method) [2] implémentée dans le logiciel acouSYS.

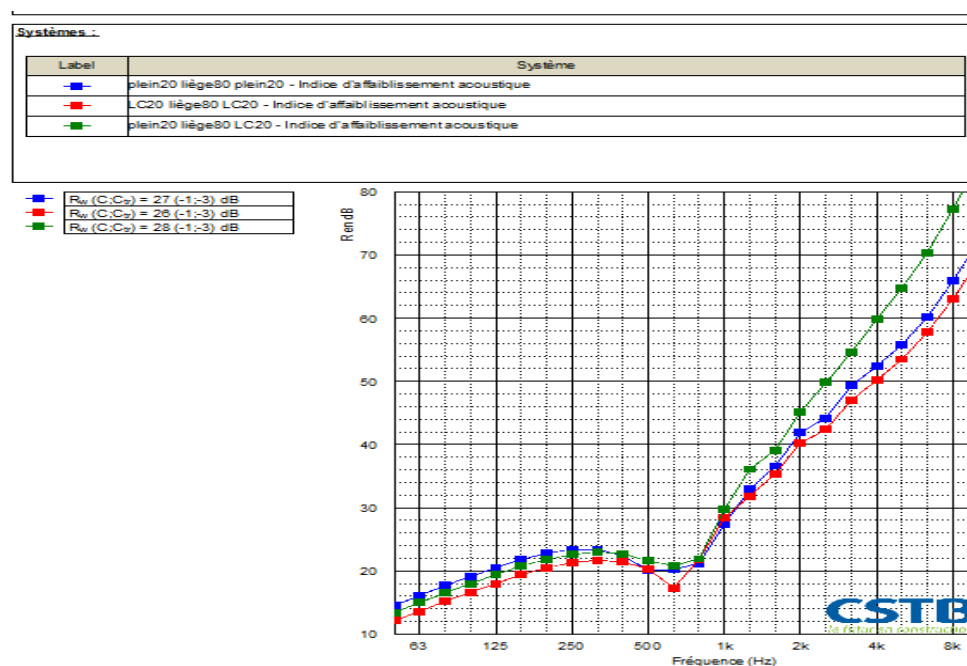


Fig. 3 : Indice d'affaiblissement acoustique des assemblages asymétriques pour une épaisseur de liège=80mm

Pour une épaisseur de 80mm les valeurs tendent vers les 80dB dans les hautes fréquences pour des assemblages asymétriques (bois plein/liège/bois lamellé collé), des performances spécifiques calculées sont du même ordre de grandeur que celles de certains systèmes utilisés en construction comme cloisons distributives.

Conclusion

Ces structures composites ajoutent à leurs propriétés de bio-source, de biodégradabilité, de légèreté, de disponibilité et de faible coût, un potentiel d'isolation acoustique.

Références

- [1] CEREZO. V, Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique, Thèse de Doctorat, 16 juin 2005.
- [2] Foret. R, Guigou-Carter .C, Chéné J-B, Paramètres des matériaux poreux influant sur la performance acoustique des systèmes du bâtiment, 10ème Congrès Français d'Acoustique, Lyon, 12-16 Avril 2010.

B23

Influence du toucher sur la vision dans la perception des états de surface du bois usiné destiné à l'ameublement par les consommateurs malgaches : détermination de seuils d'acceptabilité

ANDRIANANTENAINA Anjy N.¹, RAMANAKOTO Miora F.^{1,2},
EYMA Florent², RAMANANANTOANDRO Tahiana¹

¹Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts,
Université d'Antananarivo, Madagascar

²Laboratoire Institut Clément Ader à l'IUT de Tarbes,
Département Génie Mécanique et Productique, Tarbes, France
anjynandrianina@gmail.com

Résumé

L'usinage du bois consiste à générer des surfaces ayant pour but de satisfaire des fonctions techniques (collage, finition, etc.), ou des fonctions esthétiques (bois brut, vernis, etc.). Pour les bois d'ameublement, un des objectifs principaux est de produire une surface appréciée par les consommateurs. Au moment de l'achat, les propriétés physiques et mécaniques du bois sont des critères importants à prendre en compte, mais également les propriétés esthétiques. En effet, les perceptions sensorielles des produits finis sont tout aussi importantes car elles conditionnent le choix des consommateurs potentiels (Guest, 2002). L'originalité de ce travail réside dans la détermination de l'effet de la perception tactile sur la vision lors de l'appréciation de la qualité de surface du bois usiné par les consommateurs. Les objectifs sont doubles : (a) rechercher les critères quantitatifs qui sont corrélés aux préférences subjectives des consommateurs, (b) et trouver un seuil d'acceptabilité pour chaque critère corrélé. En effet, bien que la littérature fasse souvent référence à l'optimisation des conditions de coupe pour améliorer la qualité de surface, il n'existe actuellement aucun critère spécifique pour définir ce qu'est une bonne qualité de surface.

Ainsi, 32 surfaces de Famelona (*Chrysophilum boivinianum*, Sapotacées) ont été usinées en faisant varier les conditions de coupe. Le plan d'expérience établi a permis d'obtenir des surfaces allant de l'ébauche grossière à la finition soignée. Les états de surface ainsi générés ont été soumis à l'appréciation des consommateurs via l'analyse visuelle et viso-tactile dans des conditions contrôlées et uniformes. L'intérêt s'est focalisé sur le toucher et la vision, car c'est leur combinaison, en tant que modalités sensorielles complémentaires, qui reproduit le comportement réel des consommateurs lors de l'achat des meubles. Les états de surfaces ont été ensuite caractérisés par des paramètres quantitatifs, à savoir, douze paramètres de rugosité (sRp, sRv, sRt, sRa, sRq, sRsk, sRku, sRk, sRpk, sRvk, SMR1 et SMR2), sept paramètres d'ondulation (sWp, sWv, sWt, sWa, sWq, sWsk, sWku), un paramètre de profil primaire de la surface (sPa) et quatre défauts visuels (fibres soulevées, fibres arrachées, marques de copeaux et traces d'usinages, d'après la norme ASTM – D1666- 87). Les tests visuels et viso - tactiles ont ensuite été réalisés avec un panel de 174 consommateurs malgaches (AFNOR XP V09-501 et AFNOR, 2002).

Les paramètres corrélés avec les préférences des consommateurs ont alors été identifiés et leurs seuils d'acceptabilité ont été définis. En ce qui concerne le paramètre sRa qui est le critère le plus considéré en industrie, d'un point de vue visuel, les préférences des consommateurs vont aux surfaces dont le sRa est inférieur à 5,59 μm (suivant le plan LT) et 6,92 μm (suivant le plan LR). D'un point de vue viso-tactile, les préférences vont aux surfaces avec un sRa inférieur à 7,22 μm (LT) et 8,25 μm (LR). Pour l'ondulation, le paramètre sWt présente un seuil d'acceptabilité de l'ordre de 133,61 μm (en visuel) et 154,71 μm (en viso-tactile) suivant le plan LR ; de 135,61 μm (en visuel) et de 158,82 μm (en viso-tactile) suivant le plan LT. Concernant les défauts visuels, ce sont les défauts de type « traces d'usinages » qui sont les mieux tolérés.

Les résultats de cette étude ont donc montré que la perception tactile influe effectivement sur la perception visuelle de la qualité de surface. Les panels de consommateurs interrogés ont montré des niveaux d'exigence moins importants en viso-tactile qu'en visuel par des notations plus sévères via les seuls défauts visuels. La détermination de seuils d'acceptabilité a également pu être réalisée pour certains paramètres quantitatifs, et a permis d'apprécier qualitativement ce qui est généralement caractérisé comme étant « un bon état de surface » par les consommateurs. Ces connaissances aideront les entreprises à mieux optimiser la coupe du bois, et ainsi produire des surfaces qui répondent aux attentes des consommateurs pour les bois d'ameublement.

Références

- AFNOR (2002). Analyse Sensorielle, Recueil Général. La Plaine Saint Denis: AFNOR Editions.
- AFNOR XP V09-501. (1999). Sensory analysis. General guidance for sensory evaluation. Description, differentiation and hedonic measurement.
- ASTM – D1666- 87 (1987). Standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-based materials.
- GUEST, S. C. (2002). Audiotactile interactions in roughness perception. Experimental Brain Research, 161-171.

Mots-clés: paramètres d'états de surface, préférences des consommateurs, seuil d'acceptabilité, toucher, vision.

B24

Variation de l'infradensité dans l'arbre chez trois post-pionnières tropicalesMOREL Hélène¹, BEAUCHENE Jacques², NICOLINI Eric-André¹¹UMR AMAP - botAnique et bioinforMatique de l'Architecture des Plantes, CIRAD, Kourou²UMR EcoFoG – Ecologie des Forêts de Guyane, CIRAD, Kourouhelene.morel@cirad.fr**Introduction**

En forêt tropicale, l'arbre, au cours de son développement du stade plantule au stade adulte, voit son environnement changer radicalement. Ainsi, les traits fonctionnels et les traits du bois, comme l'infradensité (WSG, Williamson et Wiemann 2010), changent également afin de permettre à l'arbre de rester compétitif dans son nouvel environnement. La variation radiale de WSG a été étudiée chez plusieurs espèces tropicales forestières (Nock et al 2009; Schüller et al 2013). Cependant, peu de choses sont connues sur la variation longitudinale de WSG et sur la relation entre la variation de WSG et le stade de développement de l'arbre. Dans ce contexte, nous nous proposons ici d'étudier les variations à l'intérieur de l'arbre de la WSG chez trois espèces tropicales.

Matériel et méthodes

L'étude a porté sur trois espèces tropicales présentes en Guyane française : *Parkia velutina* (Benoist), *Simarouba amara* (Aubl.) et *Bagassa guianensis* (Aubl.). Ces espèces présentent un comportement post-pionnière. Nous avons échantillonné quatre rondelles à quatre hauteurs différentes par arbre (hauteur de poitrine, mi-tronc, base de la couronne et dans la couronne) pour deux *P. velutina* de forêt naturelle de 42 et 50 cm de diamètre ainsi que 10 *S. amara* de 19 à 57 cm de diamètre et 12 *B. guianensis* de 10 à 43 cm de diamètre de plantation. Pour *P. velutina*, chez 11 individus supplémentaires des prélèvements de carottes ont été effectués à hauteur de poitrine et dans le houppier.

Les mesures ont été effectuées à partir d'éprouvettes de 5 mm d'épaisseur radiale obtenues à partir d'un barreau radial fendu. Pour chaque éprouvette, on mesure immédiatement après sa découpe sa masse verte (M_{verte}) puis sa masse immergée ($M_{\text{immergée}}$) à l'aide d'un kit de densité et enfin sa masse sèche (M_{anhydre}) après séchage à 103°C pendant au moins 48 heures. Ces mesures nous permettent alors de calculer l'infradensité (WSG) de chaque échantillon selon la formule suivante :

$$\text{WSG} = M_{\text{anhydre}} / (M_{\text{verte}} - M_{\text{immergée}})$$

RésultatsVariation globale du WSG

On constate que malgré un tempérament de pionnier longévif relativement semblable les trois espèces étudiées présentent des profils et des gammes de variation de WSG radiale et longitudinale bien différentes. Les valeurs vont de 0,194 à 0,766 chez *P. velutina*, de 0,232 à 0,937 chez *S. amara* et de 0,417 à 0,911 chez *B. guianensis*. Pour chaque espèce, l'ensemble de la gamme de variation peut être observé au sein d'un même individu.

Variation radiale du WSG

Les profils de variation radiale d'infradensité de *P. velutina* (Fig. 1a) et *B. guianensis* présentent une augmentation du cœur vers l'écorce avec une légère diminution pour les échantillons près de l'écorce chez *B. guianensis*. Chez *S. amara*, les profils de variation radiale d'infradensité sont relativement plats (Fig. 1b). On n'observe pas d'augmentation de l'infradensité lorsque l'on s'éloigne du cœur.

Variation longitudinale du WSG

L'infradensité moyenne à hauteur de poitrine est fortement différente de celle observée au niveau de la couronne. On observe une élévation moyenne des valeurs d'infradensité avec la hauteur de 24,2

% chez *P. velutina* (Fig. 1a) et de 20,2 % chez *S. amara* (Fig. 1b). A l'inverse, chez *B. guianensis* le gradient est faible et inversé. On note une diminution de l'infradensité avec la hauteur de 7,8 %.

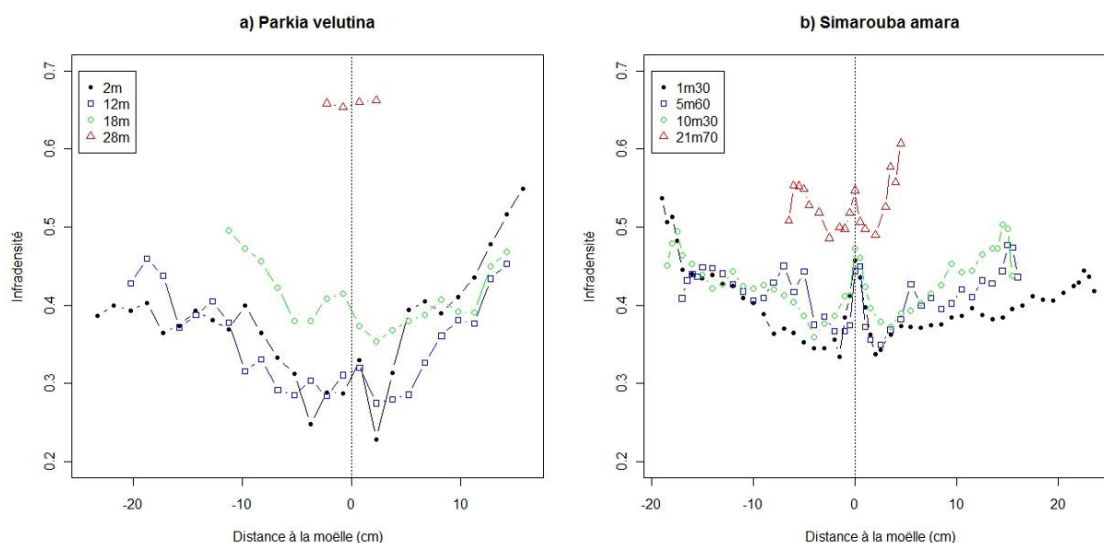


Fig. 1 : Variation radiale et longitudinale de l'infradensité chez (a) *P. velutina* et (b) *S. amara*

Hypothèses

Les trois espèces étudiées ont donc des profils de densité assez contrastés malgré un tempérament vis-à-vis de la lumière identique, des taux de croissance assez élevés et une position dominante dans la canopée. Quelles peuvent donc être les raisons de ces différences de comportement vis-à-vis des allocations de ressources lors de la croissance ?

Nous nous efforcerons de présenter plusieurs hypothèses, qui pourraient permettre de comprendre quels sont les avantages/faiblesses de ces différents comportements contrastés.

Références

- Nock C.A., Geihofer D., Grabner M., Baker P.J., Bunyavejchewin S., Hietz P. (2009) Wood density and its radial variation in six canopy tree species differing in shade-tolerance in western Thailand, *Annals of Botany*, 104, 297-306.
- Schuller E., Martinez-Ramos M., Hietz P. (2013) Radial Gradients in Wood Specific Gravity, Water and Gas Content in Trees of a Mexican Tropical Rain Forest, *Biotropica*, 45, 280-287.
- Williamson G.B., Wiemann M.C. (2010a) Measuring wood specific gravity...correctly, *American Journal of Botany*, 97, 519-524.

Mots-clefs : Infradensité, Variation radiale et longitudinale, Guyane française, Bois tropicaux.

B25

Conception d'un dispositif à rayons X de Microdentitométrie DirectionnelleJACQUIN Philippe¹, LONGUETAUD Fleur¹, MOTHE Frédéric¹¹INRA, UMR 1092 LERFOB, F-54280 Champenoux, Francephjacquin@nancy.inra.fr**Résumé**

La technique traditionnelle d'analyse microdensitométrique du bois par radiographie permet d'obtenir des images de résolution remarquable. Cependant, des problèmes de flou liés au mauvais parallélisme entre les rayons X (RX) et le fil du bois peuvent empêcher la lecture de certains cernes très fins d'un échantillon de bois. Comme il n'est pas possible d'adapter la direction des RX pour s'adapter à l'orientation de tous les éléments tubulaires de la structure du bois nous présentons une alternative à la méthode d'observation actuelle qui permet d'améliorer considérablement la netteté des images.

La solution mise en œuvre comprend principalement trois éléments : une source RX micro focus divergente ; un plateau rotatif ; un capteur de RX matriciel (flat panel RX 2d). La première étape consiste à tirer avantage de l'absence de collimation de la source RX pour exploiter son aspect multidirectionnel. Si l'on place un échantillon en face d'un faisceau de RX divergent, son incidence ne sera orthogonale à l'échantillon que sur le centre du capteur RX 2d. Plus on s'éloigne du centre de ce capteur, plus on s'écarte de l'orthogonalité. Si les éléments de la structure tubulaire du bois ne sont pas exactement alignés avec la normale à l'échantillon, ce n'est pas au centre du capteur que l'image sera la plus nette mais à une position excentrée pour laquelle les RX seront parallèles aux éléments. Si l'angle du fil varie dans l'échantillon, comme c'est le cas en général, il s'agira de déplacer l'échantillon sur un plan XY afin d'identifier pour chaque zone de l'échantillon la position idéale donnant la meilleure image possible. Pour cela nous avons conçu un dispositif original utilisant une platine rotative dont le mouvement de rotation est transformé en 2 translations. Ce dispositif nous permet de positionner l'échantillon au bon endroit avant chaque prise d'image. La dernière étape, qui est en cours de réalisation consistera à rechercher parmi les différentes images acquises d'une zone donnée de l'échantillon la meilleure image définie par sa netteté puis d'aboutir les images entre elles afin de reconstituer l'image entière de l'échantillon. Ce traitement sera réalisé à partir d'un programme d'automatisation développé sous Eclipse en langage Java, sous forme de plugin exécutable sous ImageJ. Il est à noter que cette méthode de rabouillage des images associée à la technique de recherche de netteté permettra de placer l'échantillon très près de la source RX, et donc d'obtenir un grossissement impressionnant qui permettra d'effectuer des mesures densitométriques à l'échelle du tissu voire même d'observer les éléments anatomiques du bois.

Mots-clefs : densité du bois, acquisition d'image, traitement d'image, reconstitution d'image.

B26

Vieilles perches de hêtre après éclaircie : évolution des indicateurs biomécaniques

NOYER Estelle^{1,2}, DLOUHA Jana^{1,2}, FOURNIER Meriem^{1,2}

¹INRA, UMR 1092 Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois (LERFoB),
Centre INRA de Nancy-Lorraine, 54280 Champenoux, France

²AgroParisTech, UMR 1092, Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois (LERFoB), ENGREF,
14 rue Girardet, 54000 Nancy, France
enoyer@nancy.inra.fr

Résumé

Une ouverture soudaine de la canopée implique une modification complexe du microclimat auquel l'arbre est acclimaté. Si l'accessibilité aux ressources et donc le potentiel de croissance augmentent, l'augmentation des mouvements d'air, de température de l'air et du sol et l'absence des arbres voisins résultent en une demande d'évaporation ainsi qu'un niveau de stress mécanique plus élevé (Aussenac 2000). L'acclimatation aux nouvelles conditions environnementales nécessite alors la modification des traits foliaires, hydrauliques et mécaniques. Dans le travail présent, on va se focaliser sur la modification des traits biomécaniques des perches de hêtres après une éclaircie en adoptant l'approche intégrative proposé récemment par Fournier *et al.* (2013).

L'approche intégrative résume les performances biomécaniques de l'arbre en 4 indicateurs qui combinent l'effet des traits mesurés à l'échelle du matériau avec les facteurs de taille et de forme. Ces indicateurs décrivent la sécurité de l'arbre vis-à-vis du flambement sous son poids propre (SB), sa sécurité face au vent (SW) et deux traits de motricité permettant d'évaluer sa capacité à se maintenir droit : la vitesse du mouvement tropique (MV) et le contrôle postural (PC). Pour caractériser les facteurs de forme et taille, on a mesuré la morphologie des arbres (la projection du houppier, la rectitude des tiges, la distribution de la biomasse suivant la hauteur et le défilement ont été mesuré par des méthodes usuelles ainsi qu'à l'aide du LIDAR terrestre) et la croissance axiale et radiale a été retracée grâce à l'analyse des tiges. Par ailleurs, les propriétés du bois sont en train d'être mesurées à l'échelle du matériau (densité, angle de microfibrilles, caractéristiques anatomiques et contraintes de croissance). L'échantillon de 42 perches de hêtres âgées de 60 à 100 ans a été utilisé pour cette étude avec l'objectif de tester les hypothèses suivantes :

H1 : Comme l'arbre ne peut plus s'appuyer sur ses voisins, il va chercher à augmenter la stabilité au flambement après l'éclaircie.

Dans un peuplement serré, certains arbres peuvent tenir debout que grâce à leurs voisins (Jaouen *et al.* 2007). On fait alors l'hypothèse qu'après l'enlèvement des voisins, l'arbre va chercher augmenter sa stabilité contre le flambement. Le principal facteur de variation intraspécifique de la stabilité au flambement étant le facteur de forme, on analysera entre autre la modification de la distribution de la biomasse suivant la hauteur et le défilement du tronc.

H2 : L'ouverture de la canopée augmente la charge due au vent, l'arbre aura tendance à augmenter sa marge de sécurité vis-à-vis du vent.

L'endurcissement des arbres par rapport au vent après une éclaircie a déjà été rapporté par certains auteurs utilisant des indicateurs simplifiés (Mitchell 2000). L'objectif est alors d'analyser plus en détails la réponse de nos arbres et d'identifier la part de variation induite par le changement d'allocation de la biomasse pendant la croissance d'une part et la modification des propriétés du bois observées, par exemple, par Medhurst *et al.* (2012), qui peut se révéler importante pour les arbres de petits diamètres, d'autre part.

H3 : Les perches de hêtres ayant subi une longue période de compression vont profiter de l'ouverture pour rectifier leurs tiges.

Le redressement des tiges après une ouverture de la canopée a déjà été rapporté chez des jeunes plants de hêtres (Collet *et al.* 2011). Nous assumons qu'il sera de même pour des hêtres adultes qui se sont développés sous le couvert donc obligés de chercher de troués de lumière et développer des houppiers asymétriques.

H4 : La vitesse des mouvements tropiques est déterminée par la taille des individus et la stratégie écologique de l'espèce et non par leur âge.

On peut se demander si des arbres aussi vieux que nos perches, souvent presque centenaires, sont encore capables de mettre en place un système de redressement rapide et efficace. Certains travaux indiquent que le frein principal à la rapidité des mouvements de redressement est la taille de l'individu et non son âge (Dassot *et al.* 2012).

Dans ce poster, l'approche intégrative et les hypothèses de travail qu'on souhaite tester seront présentés en apportant les éléments de réponse là où nous disposerons déjà de premiers résultats.

Financement

Ce projet a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence n°ANR-11-LABX-0002-01 (Laboratoire d'Excellence ARBRE).

Références

- Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3), 287–301.
- Collet, C., Fournier, M., Ningre, F., Hounzandji, A. P.-I., & Constant, T. (2011). Growth and posture control strategies in *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* saplings in response to canopy disturbance. *Annals of Botany*, 107(8), 1345–53.
- Dassot, M., Fournier, M., Ningre, F., & Constant, T. (2012). Effect of tree size and competition on tension wood production over time in beech plantations and assessing relative gravitropic response with a biomechanical model. *American Journal of Botany*, 99(9), 1427–35.
- Fournier, M., Dlouhá, J., Jaouen, G., & Almeras, T. (2013). Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. *Journal of Experimental Botany*, 64(15), 4793–4815.
- Jaouen, G., Alméras, T., Coutand, C., & Fournier, M. (2007). How to determine sapling buckling risk with only a few measurements. *American Journal of Botany*, 94(10), 1583–1593.
- Medhurst, J., Downes, G., Ottenschlaeger, M., Harwood, C., Evans, R., & Beadle, C. (2012). Intra-specific competition and the radial development of wood density, microfibril angle and modulus of elasticity in plantation-grown *Eucalyptus nitens*. *Trees*, 26(6), 1771–1780.
- Mitchell, S. J. (2000). Stem growth responses in Douglas-fir and Sitka spruce following thinning : implications for assessing wind-firmness. *Forest Ecology and Management*, 135, 105–114.

Mots-clefs : biomécanique de l'arbre, éclaircie, hêtre, perches.

B27

Extractibles nodaux des essences forestières tempérées

TOUAHRI Nassim¹, COLIN Francis², KEBBI-BENKEDER Zineb^{2,3},
DUMARCAY Stéphane³, GERARDIN Philippe³

¹Université de Lorraine

²UMR 1092 LERFOB INRA-Agroparistech

³EA 4370 LERMAB USC INRA-Université de Lorraine

zineb.kebbi-benkeder@nancy.inra.fr

Introduction

Les nœuds sont la principale singularité du bois. Ils sont réputés pour leur richesse en molécules extractibles telles que les lignanes et les flavonoïdes, de grand intérêt économique. Leur concentration peut être jusqu'à 500 fois plus élevées dans le bois de nœud que dans celui du tronc, aussi bien chez les résineux que chez les feuillus. La généralisation de cette observation a été testée pour une gamme plus étendue d'espèces appartenant à la ressource du Nord-Est de la France (Kebbi-Benkeder et al. 2014).

Dans ce contexte, les objectifs de cette étude étaient de compléter l'analyse de la biodiversité des extractibles nodaux, du duramen et de l'aubier sur de nouvelles essences forestières. Ceci permettant d'avancer des hypothèses sur le rôle et la variabilité de ces extractibles.

Matériel et méthodes

Onze essences forestières ont été sélectionnées et des nœuds ont été prélevés à plusieurs hauteurs le long de chaque arbre pour réaliser l'analyse de la biodiversité. Des extractions ont été réalisées avec un montage soxhlet, en utilisant quatre solvants à polarité croissante (dichlorométhane, acétone, toluène/éthanol, eau). Un couplage GC-MS a été utilisé pour l'identification et la quantification relative des molécules extractibles.

Résultats et Discussion

De manière générale, les résultats montrent des taux élevés d'extraits nodaux. Les composés majoritaires identifiés sont les lignanes (principalement chez les résineux), les flavonoïdes (principalement chez les feuillus) et les stilbènes. Par ailleurs, nos résultats révèlent de fortes variabilités en termes de nature et de quantité d'extractibles aussi bien à l'échelle interspécifique qu'à l'échelle d'un même arbre.

Les nœuds constituent donc une singularité du bois à double titre (1) du fait de leur anatomie et (2) par leur composition chimique particulière. Les extractibles jouent un rôle important de défense contre les agents pathogènes dans cette partie du tronc fortement sollicitée mécaniquement.

Références

Kebbi-Benkeder Z, Colin F, Dumarçay S, Gérardin P (2014) Quantification and characterization of knotwood extractives in twelve European softwood and hardwood species. *Annals of Forest Science* (Accepté).

Mots-clefs : Extractibles, flavonoïdes, lignanes, nœuds, stilbènes.

C01

ANR JCJC2013 – Projet CLIMBOIS : Essais de fissuration du bois en fluage sous environnement variable

ANGELLIER Nicolas¹, MOUTOU PITTI Rostand^{2,3}, DUBOIS Frédéric¹,
RIAHY Hassen^{2,3,4}, GARMY Joël⁵

¹GEMH, Université de Limoges, Centre Universitaire Génie Civil, 19300 Egletons, France

²Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France

³CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171 Aubière, France

⁴LARIS, Université d'Angers, 49000 Angers, France

⁵Auvergne Promobois, Site de Marmilhat, BP 104, 63370 Lempdes, France

nicolas.angellier@unilim.fr

Introduction

Le projet ANR JCJC2013 CLIMBOIS sur « l'impact des variations climatiques et mécaniques sur la durabilité des constructions bois » (Moutou Pitti et al. 2013) connaît ses premiers résultats expérimentaux préliminaires. Ils s'inscrivent dans la tâche 1 « rupture et comportement viscoélastique », et en particulier dans la sous tâche de « validation expérimentale » des « formalismes analytiques de mécanique de rupture » et de la « modélisation numérique de la rupture couplée à la viscoélasticité » développés depuis le début du projet (Riahi et al. 2014). Ce résumé présente donc les essais de fissuration d'éprouvettes à inertie variable de type DCB menés au sein du laboratoire GEMH à Egletons.

Essais de caractérisation

Afin d'évaluer la force critique à la rupture ainsi que le taux de restitution d'énergie propres à chacune des 2 essences du Massif Central étudiées (Sapin Blanc fourni par Auvergne Promobois et Douglas), des essais en mode d'ouverture de fissure sont menés (Fig. 1) à l'aide d'une presse Zwick (déplacement imposé à 0.5mm/min) pour 2 éprouvettes par essence à la température de 25°C et à l'humidité relative de 40%.



Fig. 1 : Dispositif expérimental (Douglas)

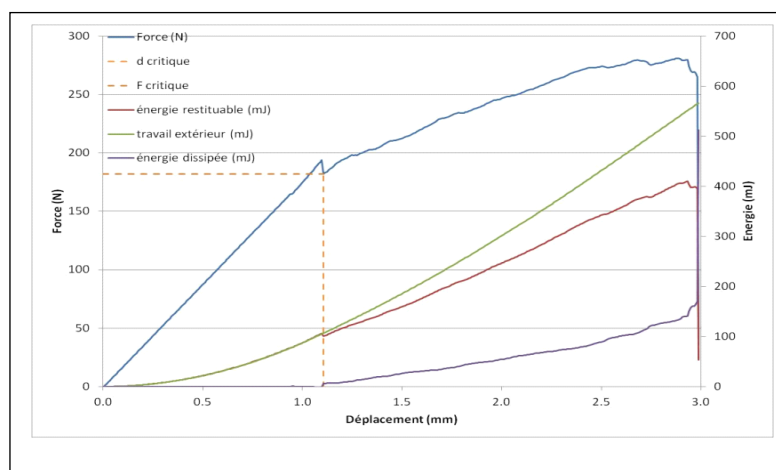


Fig. 2 : Résultats d'un essai : force et énergies en fonction du déplacement (Sapin Blanc)

A partir des mesures de force et de déplacement, l'évolution des énergies restituées et dissipées est calculée (Fig. 2), la force critique et le taux de restitution d'énergie en sont déduits. En moyenne, la force critique est évaluée à 180N pour les deux essences. Par contre, le taux de restitution d'énergie est plus élevé pour le Sapin Blanc (environ 300 J/m²) que pour le Douglas (environ 200 J/m²).

Essais de fluage sous cycles hydriques

Le dispositif expérimental, composé d'un banc de fluage placé dans une chambre climatique assurant l'alternance de cycles de séchage (40% HR) humidification (90% HR) à une température constante de 25°C, permet de tester simultanément 4 éprouvettes DCB par essence auxquelles s'ajoutent 2 éprouvettes témoins pour le suivi de la teneur en eau par prise de masse régulière (Fig. 3).



Fig. 3 : Banc de fluage
(Sapin Blanc)

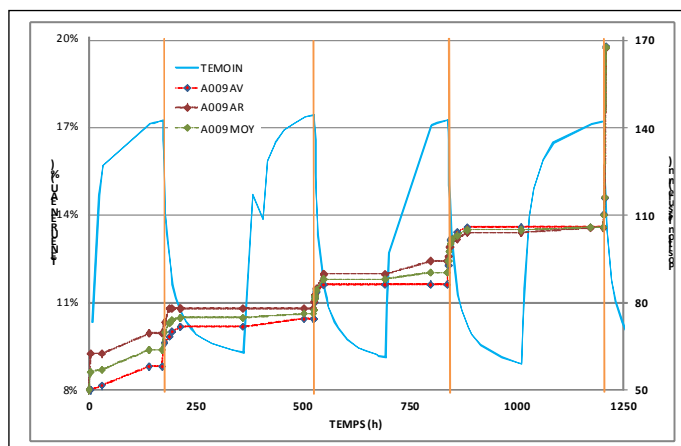


Fig. 4 : Suivi de teneur en eau et de fissuration (Douglas)

La charge initiale appliquée permet d'amorcer la fissuration sans dépasser la zone de stabilité. La position de la pointe de fissure est régulièrement relevée sur les deux faces des éprouvettes (Fig. 4). L'avancement de fissure intervient au début de chaque phase de séchage. La rupture complète des éprouvettes intervient au bout de 3 ou 4 cycles.

Conclusion

Ces résultats préliminaires permettent de mieux appréhender le comportement à la fissuration des 2 essences étudiées. Une nouvelle campagne expérimentale est programmée pour consolider les conclusions : essais de caractérisation d'éprouvettes humides, essai de fluage supplémentaire, essais en mode mixte sur des éprouvettes MMGC. Une instrumentation CND (émission acoustique, imagerie) pour le suivi plus précis et automatisé de la fissuration est à l'étude. Ainsi, nous pourrions utiliser les données issues de ces essais pour une confrontation avec les formalismes analytiques et les modélisations numériques développés dans le projet.

Références

- Riahi H., Moutou Pitti R., Dubois F., Fournely E., Chateaneuf A. (2014) *Numerical fracture analysis coupling thermo-hygro mechanical and viscoelastic behaviour*. Mechanics of Time-dependent Materials (MTDM), Montreal, Canada, 27-30 May, 2014.
- Moutou Pitti R., Diakhate M., Bastidas Arteaga E., Aoune Y., Angellier N. (2013) ANR JCJC N° ANR-13-JS09-0003-01. *Projet CLIMBOIS: Impact des variations climatiques et mécaniques sur la durabilité des constructions bois*. 2èmes Journées du GDR CNRS 3544 Sciences du Bois, Champs-Sur-Marne, 19-21, novembre, 2013.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ANR pour le financement du projet JCJC CLIMBOIS ainsi que le pôle de compétitivité ViaMeca pour la labellisation de ce projet.

C02

Transferts hygroscopiques dans le bois : Approche par technique résistive multiplexée et inversion numérique

NGUYEN Tuan Anh¹, ANGELLIER Nicolas¹,
ULMET Laurent¹, CARE Sabine², DUBOIS Frédéric¹

¹GEMH, Université de Limoges, Centre Universitaire Génie Civil, 19300, Egletons, France

²Laboratoire Navier (UMR 8205), Université Paris-Est, CNRS, ENPC, IFSTTAR, 77455 Marne La Vallée, France

nicolas.angellier@unilim.fr

Expérimentations et mesures : diffusion, gammadensimétrie et résistivité

Les propriétés de transfert sont analysées sur 2 échantillons ($320 \times 95 \times 95 \text{ mm}^3$) prélevés sur la même planche de Douglas ; ils sont découpés selon les directions principales d'orthotropie et le processus de sorption est unidirectionnel, Fig.1 (a). La teneur en eau globale W est obtenue par pesée régulière des échantillons. Des profils spatiaux de teneur en eau sont mesurés avec la technique de la gammadensimétrie (échantillon 1), Fig.1 (b), et un peigne de 21 électrodes permet l'injection multiplexée de courant en mode dipôle-dipôle à l'aide d'un résistivimètre pour la détermination de profils spatiaux de résistivité (échantillon 2), Fig 1. (c).

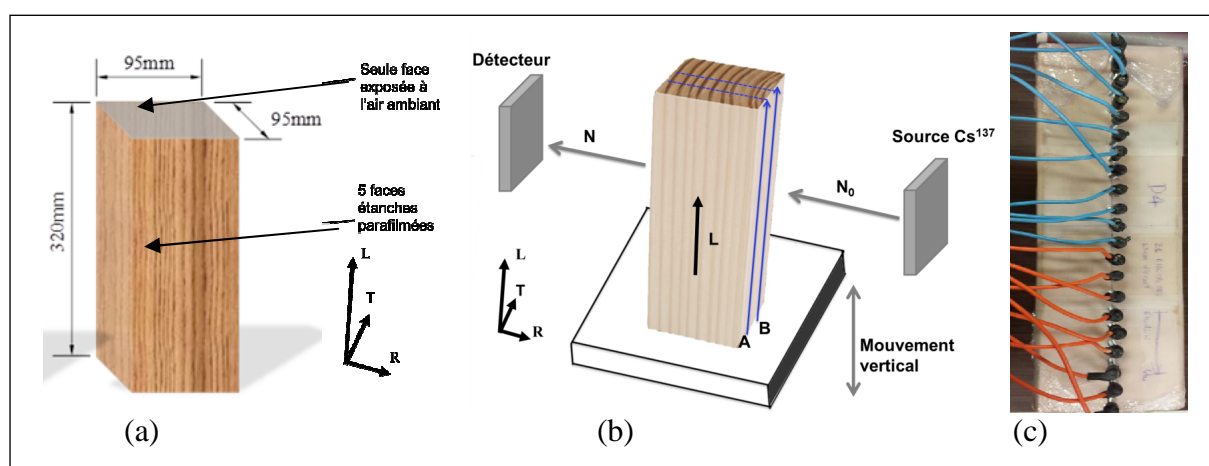


Fig. 1 : (a) Echantillons de Douglas - Dispositifs de mesure de profils spatiaux
(b) par gammadensimétrie - (c) par résistivité

Modélisations et inversions : diffusion, résistivité et teneur en eau

Une méthode couplée entre les mesures gammadensimétriques et la pesée permet d'identifier les paramètres d'un modèle de transfert hydrique développé en différences finies à l'aide de l'algorithme du Simplexe (Nguyen et al 2013). Les paramètres sont : les coefficients de diffusion anhydre D_0 et de non linéarité k , le coefficient d'échange surfacique S et la teneur en eau d'équilibre. W_{eq} . Les profils spatiaux de teneur en eau expérimentaux et numériques sont présentés dans la Fig.2 (a).

Par ailleurs, les échantillons, les électrodes et l'injection multiplexée de courant sont modélisés par éléments finis et une méthode inverse utilisant l'algorithme de Levenberg-Marquadt est implémentée afin d'identifier les profils spatiaux de résistivité à partir du multiplexage électrique, Fig. 2 (b).

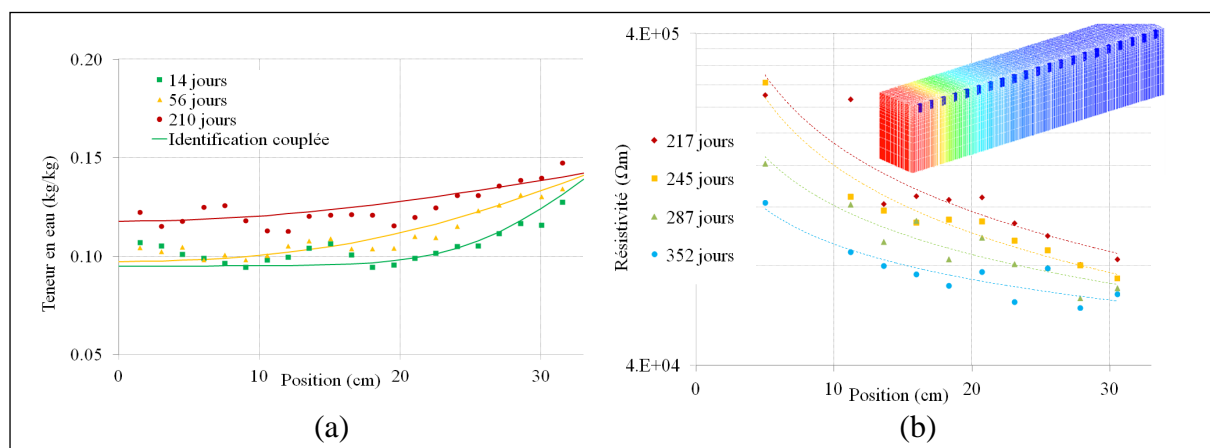


Fig. 2 : (a) Profils spatiaux de teneur en eau expérimentaux (gammadensimétrie) et numériques (b) Profils spatiaux de résistivité

Enfin, le couplage entre le modèle de diffusion et le modèle d'inversion de la résistivité est obtenu en identifiant les coefficients de la loi de passage logarithmique qui relie classiquement la teneur en eau et la résistivité :

$$\ln(\rho) = E + F \cdot \ln(w)$$

Les profils spatiaux de teneur en eau aux temps expérimentaux des mesures électriques sont simulés à l'aide des paramètres de diffusion identifiés précédemment. Les valeurs identifiées des constantes E et F permettent de calculer des profils spatiaux de teneur en eau à partir des profils de résistivité identifiés précédemment, Fig.3 (a), ainsi que de situer le comportement résistif vis-à-vis de l'humidité des échantillons de Douglas par rapport à d'autres essences étudiées dans la littérature, Fig. 3 (b).

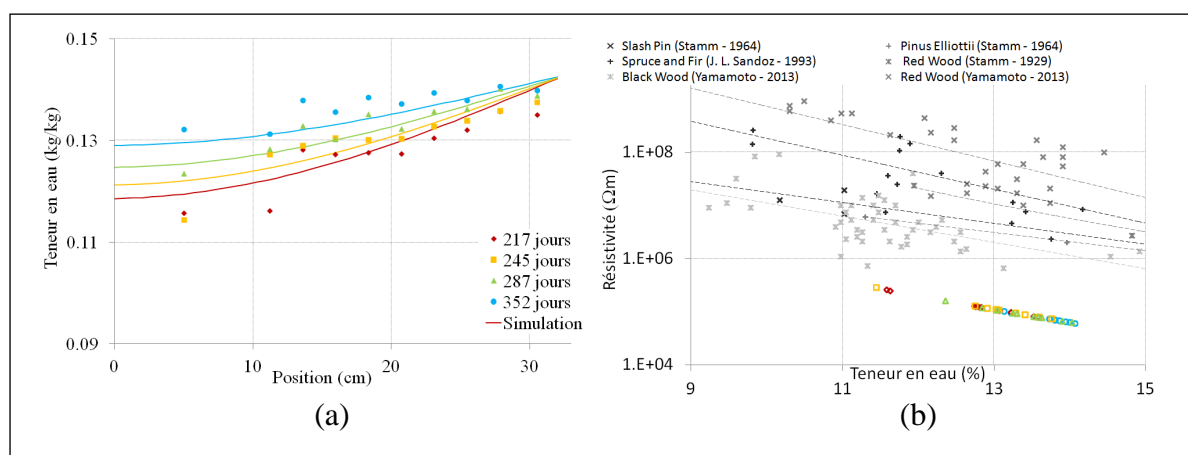


Fig. 3 : (a) Profils spatiaux de teneur en eau numériques et expérimentaux (résistivité) (b) Résistivité en fonction de la teneur en eau pour différentes essences

Références

N'Guyen T.A., Angellier N., Caré S., Ulmet L., Dubois F. (2012) *Approches expérimentales et numériques pour l'étude des transferts hygroscopiques dans le bois*. 1ères Journées du GDR CNRS 3544 Sciences du Bois, Montpellier, 26-28, novembre, 2012.

Mots-clefs : diffusion ; résistivité ; gammadensimétrie ; inversion.

C03

Modélisation éléments finis du comportement des panneaux peints soumis à un test de vieillissement accéléré

DUBOIS Frédéric¹, JAMAAOUI Amine¹, PODGORSKI Laurence²,
LAMBERT Marion¹, ROUGER Frédéric²

¹Université de Limoges, Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes, 19300 Egletons, France

²Institut Technologique FCBA, 33000 Bordeaux, France

frederic.dubois@unilim.fr

Introduction

Un des freins majeurs au développement des structures en bois est, sans conteste, la problématique du vieillissement des éléments exposés aux intempéries (pluie, ensoleillement, etc.) induisant des rythmes de maintenance en désaccord avec les standards sociétaux actuels. Dans ce contexte, un protocole expérimental et normalisé de vieillissement accéléré (EN 927-6) constitue pour les développeurs de produits de finition un outil de comparaison réglementé. Malheureusement, il ne permet pas de proposer une transposition fiable entre ses résultats et un vieillissement réel prenant en compte une région climatique et une orientation spécifique. Si ce processus de vieillissement accéléré est répétable et maîtrisé, il reste éloigné d'une situation réelle. Si un vieillissement naturel est réaliste, sa durée dans le temps le rend incompatible avec la nécessité de réaction du marché. Nous proposons donc le développement d'un outil de simulation numérique faisant une passerelle entre les résultats issus d'un vieillissement accéléré vers le pronostic d'un vieillissement naturel.

Démarche expérimentale

Le protocole expérimental repose sur l'utilisation d'une enceinte de vieillissement accéléré de type Q-UV alternant une exposition aux ultraviolets, une condensation et une pulvérisation (Fig. 1). L'outil de modélisation possédant un algorithme de résolution des transferts de masse et de chaleur, les cycles ont pu être traduits en termes de conditions aux limites données en température et humidité à l'équilibre.

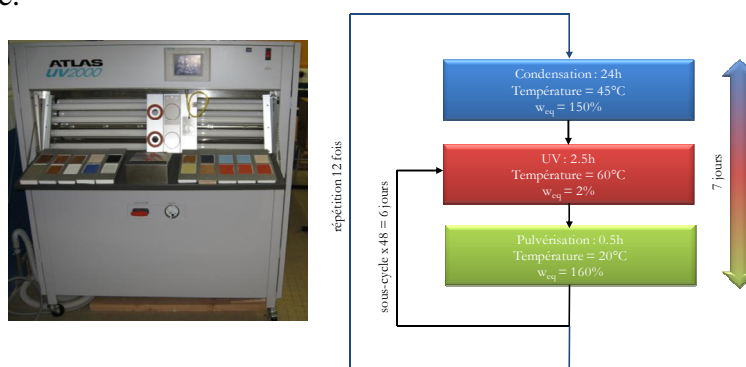
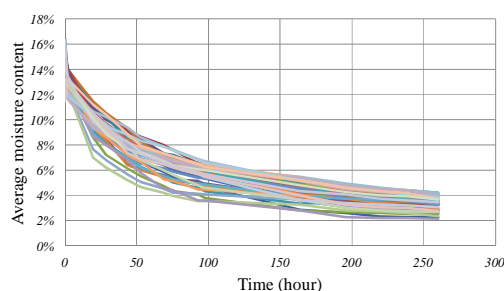


Fig. 1 : Enceinte Q-UV et cycle de vieillissement accéléré

Trois campagnes expérimentales ont été menées afin de quantifier la réponse d'échantillons dépourvus de couche de finition à un tel vieillissement. L'étude des cinétiques d'adsorption lors des condensations et des pulvérisations ainsi qu'en désorption lors de l'exposition aux rayons UV permet de caractériser les propriétés de diffusion hydrique dans le support ainsi que les propriétés de perméabilité de la couche de finition en accord avec la seconde loi de Fick intégrant orthotropie et diffusion non linéaire (Fig. 2) :

$$\frac{\partial w}{\partial t} - \text{div} \left(\underline{D}_w \cdot \overline{\text{grad}}(w) \right) = 0 \quad \text{avec} \quad D_w^\alpha = D_o^\alpha \cdot \exp(k \cdot w) \quad (1)$$



Coefficient de diffusion

$$D_w^L = 4.17 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad k^L = 0$$

$$D_w^R = 1.0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad k^R = 0.5$$

$$D_w^T = 5.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \quad k^T = 0.5$$

Fig. 2 : Désorption par exposition aux UV et propriétés de diffusion

Endommagement de la couche de finition

En surface de la couche de finition, les échanges hydriques sont pilotés par l'équation suivante :

$$-D_w \cdot \vec{\nabla} w \cdot \vec{n} = (w_\Omega - w_{eq}) \cdot S_w \quad (2)$$

Où S_w représente le coefficient d'échange hydrique entre le support et l'air ambiant intégrant la perméabilité de la couche pouvant, cycle après cycle se dégrader. Ainsi, pour un état d'endommagement donné D , introduisons un coefficient d'échange hydrique effectif \tilde{S}_w tel que :

$$\tilde{S}_w = 10^{-6} - 9,9 \cdot 10^{-7} \cdot D \quad (3)$$

En considérant un endommagement fragile en traction de la couche de finition, nous employons une loi d'endommagement de type Mazar ; à savoir :

$$D = 1 - \left[\frac{\varepsilon_o \cdot (1 - A_t)}{\varepsilon} - \frac{A_t}{\exp(B_t \cdot (\varepsilon - \varepsilon_o))} \right] \quad (4)$$

ε désigne la déformation surfacique de la couche de finition supposée en tension plane évaluée par éléments finis en introduisant un comportement mécano-sorptif du support. ε_o représente le seuil de déformation au-delà duquel se développe l'endommagement. Durant l'ensemble des séquences de vieillissement accéléré, le modèle permet de déterminer l'évolution de la teneur en eau pilotée, d'une part, par les propriétés de diffusion du support mais également par l'état d'endommagement de la couche de finition (Fig. 3).

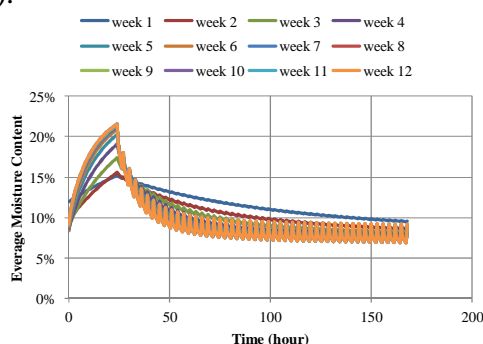


Fig. 3 : Enceinte Q-UV et cycle de vieillissement accéléré

Conclusion

Ce travail a permis de franchir une première étape quant à la modélisation du vieillissement artificiel de panneaux de bois peints et permet d'espérer une adaptation ultérieure au vieillissement climatique.

Références

Dubois F., Jamaaoui A., Podgorski L., Rouger F. (2014) Modeling of the hygroscopic behavior of coated wood panels submitted to accelerated aging. WCTE, Quebec City, 10-14/08/2014.

C04

Etude multi-échelle des transferts hygrothermiques dans le béton de bois

MEDJELEKH Dalel^{1,2}, ULMET Laurent¹, DUBOIS Frédéric¹¹Université de Limoges, Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes, 19300 Egletons, France
²Laboratoire d'Architecture Bioclimatique et d'Environnement A.B.E.,
Ecole d'Architecture, Université Mentouri, 25000 Constantine, Algérie
laurent.ulmet@unilim.fr

Cellule test est monitoring

Dans le but de démontrer les avantages du béton de bois **dans la gestion des transferts hygrothermiques**, une campagne de mesures de plusieurs années a été effectuée sur une maquette de volume intérieur 27 m³, Fig. 1, réalisée à l'aide de panneaux préfabriqués en béton de bois de 380 mm d'épaisseur. Cette maquette est soumise aux aléas climatiques extérieurs. Ses charges enthalpiques et hydriques internes sont totalement identifiées par comptage de la consommation de chauffage et de la quantité de vapeur d'eau injectée. Les enregistrements obtenus, qui sont les évolutions de température et d'hygrométrie dans l'ambiance interne, sont confrontés aux résultats des Simulations HygroThermiques Dynamiques (SHTD) à l'échelle du bâtiment, tenant compte des scénarios météorologiques réels.

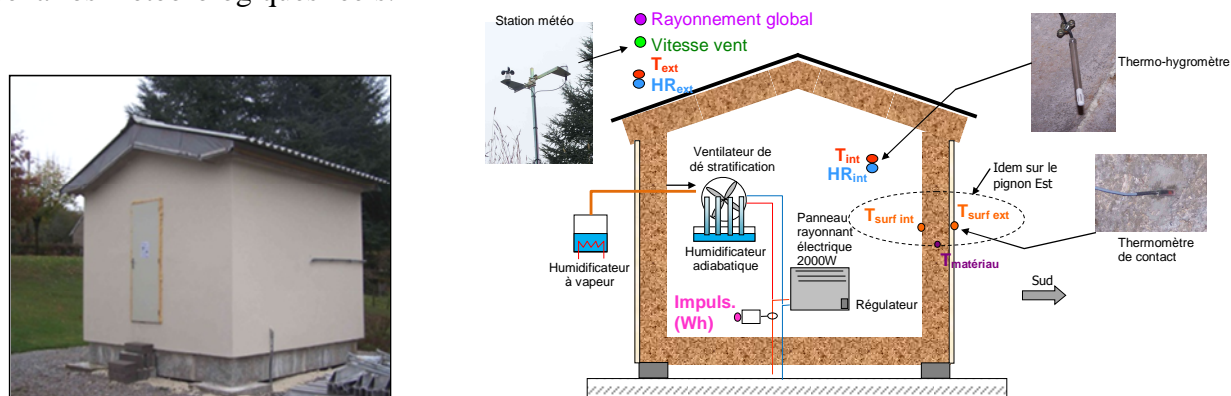


Fig. 1 : Cellule-test : vue extérieure et monitoring

Outil de modélisation

L'étude portant sur des échelles de temps inter-saisonnières, un outil numérique complet modélisant de manière réaliste les transferts hygrothermiques dans toute l'épaisseur des parois est développé. A cet effet, l'implémentation des équations de transferts couplés en milieu hygroscopique est conduite dans l'environnement Eléments Finis Cast3M, dont la polyvalence permet des applications multi-échelles allant de l'échantillon à l'échelle matériau jusqu'au bâtiment (modèle multi-parois, Fig. 3, ou modélisation complète du volume 3D, éventuellement multizone).

Identification des propriétés du matériau

Lors de l'obtention des isothermes de sorption, la cinétique des paliers est exploitée afin de déterminer l'évolution de la perméabilité à la vapeur δ en fonction de la teneur en eau w . Cette approche évite d'avoir recours aux essais de perméabilité classiques de la coupelle sèche et humide et donne une information plus riche sur la loi $\delta = f(w)$. Ainsi, les paliers de sorption sont modélisés par éléments finis, Fig. 2. L'identification paramétrique repose alors sur la minimisation des écarts entre les évolutions de teneurs en eau moyennes w_m théoriques et mesurées, ceci pour les différentes tailles d'échantillons et pour l'ensemble des créneaux hydriques. Cette méthode permet d'atteindre des paramètres de diffusion intrinsèques au matériau en éliminant les effets d'échelle.

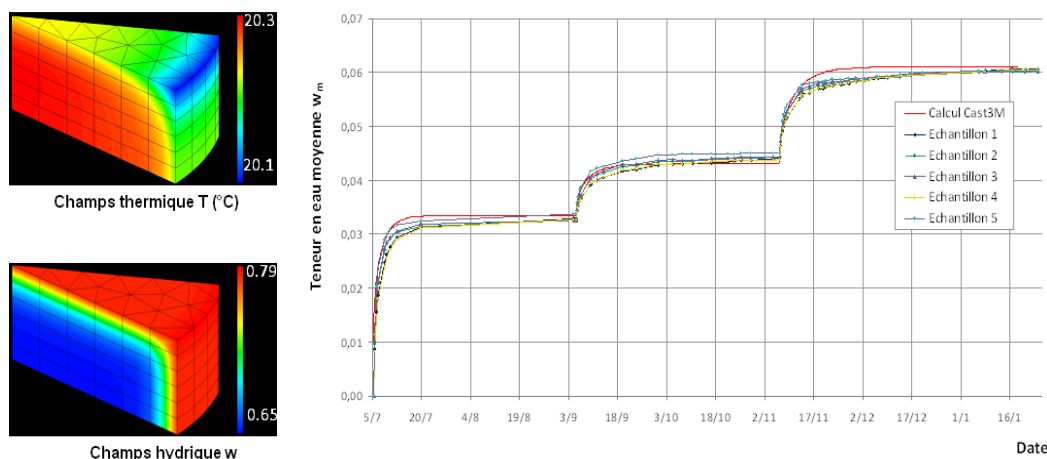


Fig. 2 : Adsorption sur échantillons cylindriques : cinétiques mesurées et calculées

Comparaison entre mesures et simulation numérique sur la cellule-test

La Fig. 4 montre la confrontation entre modèle et mesure lors d'une séquence hivernale avec chauffage et comportant plusieurs créneaux d'humidification adiabatique de longue durée. L'impact du couplage thermo-hydrigue est clairement visible lors des phases d'humidification, la réponse en température avec modèle couplé (courbe rouge) étant en meilleure adéquation avec la mesure que celle du modèle thermique pur (courbe noire). Trois séquences d'injection de vapeur successives en période estivale passive montrent clairement l'influence de la chaleur de sorption sur la température intérieure, qui se traduit par une élévation de l'ordre de 1K à 1.4K, aussi bien par la mesure que par le modèle (Fig. 5).

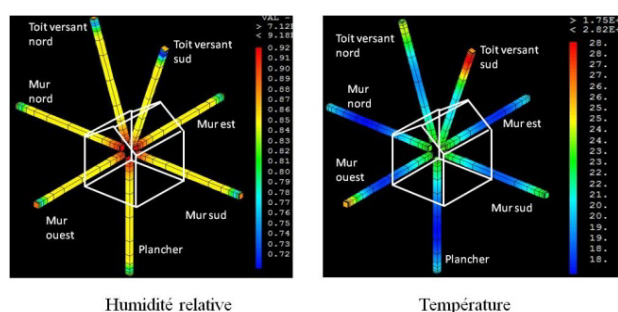


Fig. 3 : Exemple de champs dans les parois

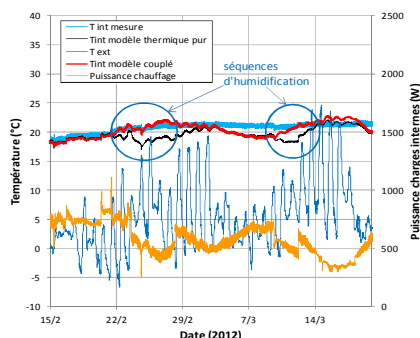


Fig. 4 : Séquence hivernale avec humidification

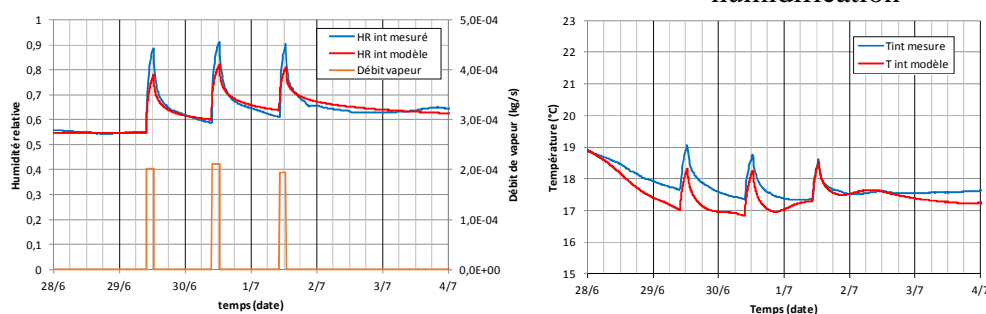


Fig. 5 : Séquence estivale avec injections de vapeur

Références

Medjelekh D., Ulmet L., Dubois F. (2014) Mesure et modélisation des transferts hygrothermiques d'une enveloppe en béton de bois, congrès IBPSA, Arras, 20-21 mai 2014.

Mots-clefs : béton de bois – simulation dynamique – transfert hygrothermique.

C05**Effet du Patrimoine génétique du Douglas
vis-à-vis de son comportement hygroscopique**JAMAAOUI Amine¹, POP Octavian¹, COSTA Guy², DUBOIS Frédéric¹, GLOAGEN Vincent²¹ Université de Limoges, Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes, 19300 Egletons, France² Université de Limoges, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, 87000 Limoges, France
frederic.dubois@unilim.fr**Contexte scientifique**

Bien que le bois soit un matériau de construction pouvant répondre aux enjeux environnementaux actuels par sa faible consommation d'énergie grise et sa capacité à stocker le gaz carbonique, son utilisation est encore aujourd'hui restreinte pour des raisons de durabilité. Au-delà des raisons de durabilité d'aspect, certaines essences comme le Mélèze ou le Douglas présentent des capacités de durabilité naturelle vis-à-vis des attaques biologiques. Cependant, l'emploi de ces essences dans des applications structures comme, par exemple, les ouvrages d'art, Fig. 4, nécessite d'accroître ce degré de durabilité afin de limiter le recours systématique à des traitements de préservation souvent agressifs vis-à-vis de l'environnement.



Fig. 4 : Pont de Merle réalisé en Douglas

Dans le cadre de la chaire 'Ressources Forestières & Usages du Bois' mise en place par l'Université de Limoges, nous présentons une approche originale de la durabilité en proposant une transversalité entre le patrimoine génétique de différentes familles de Douglas et la durabilité en structure en employant, comme 'marqueur', le comportement hygroscopique du matériau. A travers une thèse de Doctorat, cette transversalité entre biologie et mécanique du bois reflète la volonté de transdisciplinarité de la communauté sciences du bois regroupée au sein de ce Groupe De Recherche.

Durabilité et comportement hygroscopique

Au regard des ouvrages du Génie Civil en extérieur, les problématiques de durabilité sont principalement liées aux risques biologiques tempérés par les conditions d'humidité de l'environnement. Naturellement durable en classe de risque 3, l'utilisation de Douglas demande des traitements particuliers et complexes pour une exposition sévère à l'humidité. Plus précisément, il est admis que des conditions hydriques, dont la limite serait inférieure à 20% d'humidité interne, permettent de mettre des éléments de structure à l'abri d'attaques biologiques. Dans des zones à risque, plusieurs stratégies peuvent être employées. La première concerne des solutions architecturales afin de protéger les éléments exposés comme, par exemple, des débords de toitures

ou de tabliers d'ouvrages d'art ou des éléments de protection rapportés comme des profilés métalliques sur menuiseries ou sur béquilles de pont. La seconde regroupe les traitements physico-chimiques préventifs et/ou curatifs (lasure, peinture, traitements thermiques, etc.), et ce, avec des impacts environnementaux plus ou moins marqués. L'approche, que nous proposons dans ce travail, repose sur les propriétés hygroscopiques du matériau douglas. En effet, le couplage entre propriétés de diffusion hydrique et isothermes de sorption permet d'obtenir des caractéristiques d'inertie hydrique limitant, à la fois, les pics hydriques et la pénétration du front hydrique dans les éléments massifs structuraux. En phase d'immersion, la Fig. 5 met en évidence le comportement de différentes essences avec, comme limites extrêmes, le Pin maritime et le Douglas.

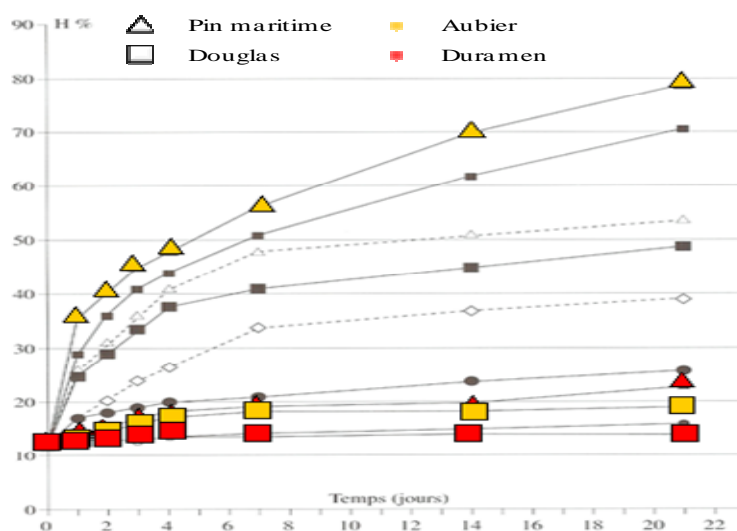


Fig. 5 : Reprise hydrique en immersion

Sélection de génotypes

L'objet de ce travail de doctorat est consacré à une étude statistique du comportement hygroscopique de différents génotypes de Douglas. Comme indiqué en Fig. 6, la sélection repose, à la fois, sur une diminution des composantes du tenseur de diffusion D_w et de la teneur en eau d'équilibre w_e , et ce, pour différentes ambiances climatiques.

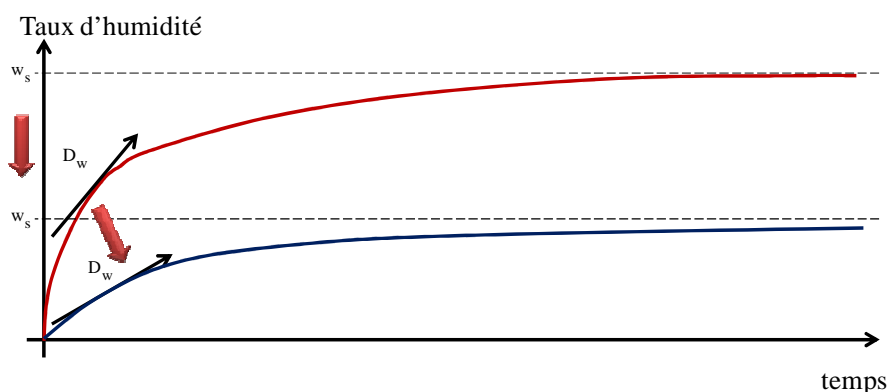


Fig. 6 : Effets des propriétés de diffusion sur la cinétique d'adsorption

Aujourd'hui, 4 génotypes sont à l'étude. Cette étude statistique a comme ambition de mettre en exergue quelques marqueurs en lien avec un faible coefficient de diffusion et des isothermes de sorption à humidité d'équilibre basse. Enfin, l'effet du retrait-gonflement, la cause de fissurations en séchage, sera également étudié.

C06

Construction Bois Pôle Egletons **Un nouveau centre de formation par la pratique et par l'exemple**

SAUVAT Nicolas¹

¹Université de Limoges – Campus Universitaire Génie Civil – 19300 EGLETONS
nicolas.sauvat@unilim.fr

Neuf nouveaux bâtiments : un outil de formation et d'expérimentation

Implanté sur le site du Campus Universitaire de Génie Civil d'Egletons, BOIS^{PE} est un nouvel outil de l'Université de Limoges. Le projet a été porté par l'Agence de Valorisation de la Recherche Universitaire en Limousin (AVRUL). La réalisation du projet (2,3 M€ HT) a bénéficié de 70 % d'aides publiques en provenance du FEDER Massif central, de la Région Limousin, de l'ADEME et qui complètent un emprunt contracté par l'AVRUL. Un partenariat industriel important (près de 50 sociétés d'envergure nationale) complète le dispositif par une mise à disposition des produits, une assistance technique, la réalisation d'études et de mise en oeuvre sur chantier.

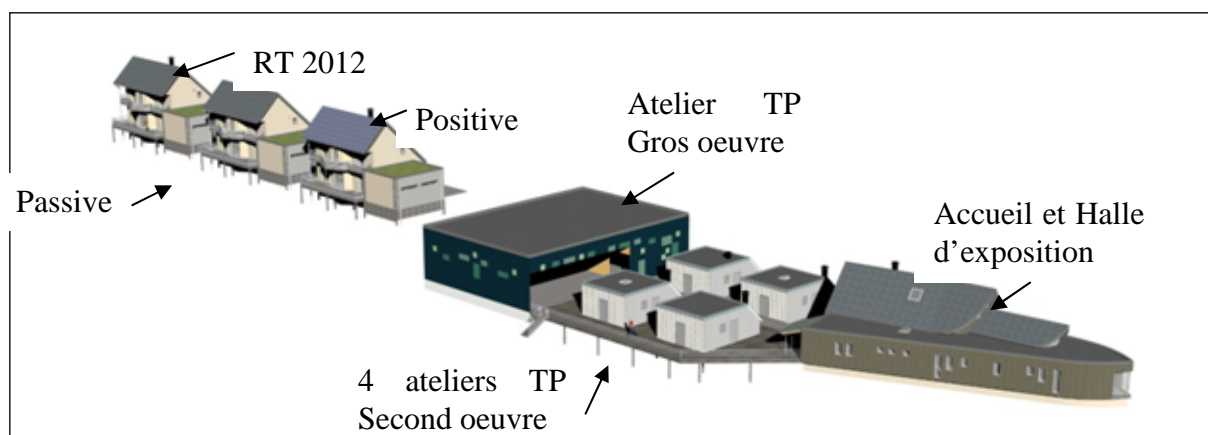


Fig. 1 : Perspective des nouveaux bâtiments

Le centre est opérationnel depuis juin 2014. Les premiers stages ont eu lieu et des programmes de mesure dans les 3 maisons ont débuté dès la construction.

Accompagner les professionnels intervenant dans la construction bois

L'obligation de résultats induite par la RT2012, et notamment le contrôle des infiltrations de fuite dans les logements oblige à une plus grande coordination entre tous les corps d'états intervenant dans la construction à ossature bois. De plus, nombre de pathologies en construction bois prennent leur origine dans la mise en oeuvre, par une méconnaissance du système constructif et de la sensibilité du matériau aux flux hydriques. L'objectif du centre est de proposer aux professionnels, tous corps d'état, intervenant sur des constructions à ossature bois, des formations courtes, où l'acquisition de compétences est valorisable par les assureurs. Six ateliers de travaux pratiques permettent aux différents corps d'états de découvrir les différentes phases de chantier, ainsi que des exemples de mise en oeuvre de produits et systèmes.



Fig. 2 : Vue des ateliers TP 3 (isolation, étanchéité à l'air, pose de menuiseries), et 4 (ventilation individuelle, toiture terrasse, traversée de dalle bois)

Des maisons ossatures bois, support de formation et de mesures

Les trois maisons de 104 m², de niveau RT 2012, passif et positif, sont instrumentées et pilotées automatiquement :

- Capteurs de température disposés dans toutes les parois, pour mesurer les profils de température et les ponts thermiques ;
- Capteurs de température et d'humidité dans chaque pièce pour les mesures de confort ;
- Compteurs d'énergie pour chaque poste de consommation électrique, au delà des 5 postes réglementaires de la RT 2012 (chauffage ; refroidissement, production d'eau chaude sanitaire ; ventilation ; éclairage ; autres.) ;
- Pilotage automatisé des occultants solaires et de la ventilation naturelle, en fonction des conditions de confort intérieur.



Fig. 3 : Vue des façades des 3 maisons côté IUT (Sud)



Fig. 4 : Vue des façades des 3 maisons côté rue (Nord)

Imaginées pour étudier les performances énergétiques sur système ossature bois, ces trois maisons peuvent également être des supports de mesures de Qualité de l'Air Intérieur, d'acoustique,... ou de tout autre programme de caractérisation à l'échelle 1.

C07

La formation du duramen chez le douglas

PLAZANET Idelette¹, BOIZOT Nathalie², LABEL Philippe³, BRETON Christian², GLOAGUEN Vincent¹, COSTA Guy¹

¹Université de Limoges, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles,
123 avenue Albert Thomas, 87000 Limoges, France

²INRA Unité Amélioration Génétique & Physiologie Forestière,
2163 avenue de la Pomme de Pin, Ardon CS 40001 45075 Orléans cedex 2, France

³Université Blaise Pascal, UMR-INRA Physiologie Intégrée de l'Arbre Fruitier & Forestier,
Les Cézeaux, 24 avenue des Landais, 63171 Aubière BP 80026, France

idelette.plazanet@etu.unilim.fr

Contexte scientifique

La duraminisation est le processus terminal de la différenciation des cellules du bois conduisant à la formation du bois de cœur ou duramen. Cette maturation du bois modifie tout à la fois les propriétés mécaniques, biologiques et esthétiques du matériau conditionnant par la même son utilisation. Selon l'espèce, les caractéristiques du bois de cœur sont extrêmement variables. Chez le noyer, le mélèze et le douglas, le bois de cœur se différencie facilement de l'aubier à la fois en termes de couleur ou de durabilité. La formation du bois de cœur est un processus biologique complexe associé à la mort programmée des cellules de parenchymes organisés dans les directions axiale et radiale de la tige. Au cours de ce processus, les cellules du xylème vont mettre en place une paroi secondaire constituée des 3 polymères principaux que sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine (Plomion *et al.*, 2001). Des travaux ont montré que la formation du bois de cœur est associée à un processus de mort cellulaire programmée (PCD) impliquant la perte d'intégrité cellulaire, la fragmentation nucléaire, la dégénérescence mitochondriale et la production d'extractifs phénoliques (Frey-Wyssling et Bosshard, 1959 ; Hauch et Magel, 1998). D'autres études se sont concentrées sur le rôle des hormones, agissant sur le nombre des cellules de parenchyme, ou encore sur la distribution des hydrates de carbone au cours de la formation du bois de cœur (Frey-Wyssling et Bosshard, 1959 ; Hillis, 1987). D'autres chercheurs ont analysé l'activité des enzymes impliquées dans la synthèse des sucres, des lipides, et des composés phénoliques (Schrader et Sauter, 2002 ; Magel, 2000). Malgré ces études, les mécanismes conduisant à la formation du bois de cœur ne sont toujours pas totalement élucidés.

Stratégie envisagée

L'analyse de la formation du duramen a été envisagée au travers de l'étude de l'expression en masse des gènes exprimés (RNA-Seq) et des μ ARN. Des douglas, de 4 génotypes différents, plantés en 1994 à Gimel (19) ont été prélevés à raison d'un arbre par génotype et par saison. L'arbre abattu est débité en rondelles de 1 à 2 cm d'épaisseur, immédiatement congelées par immersion dans l'azote liquide. Après lyophilisation, les ARN totaux ont été extraits suivant le protocole décrit par Chang *et al.* (1993). Les ARNm ont ensuite été isolés des ARN totaux avant d'être séquencés sur un séquenceur de nouvelle génération de type PROTON (Life technologies).

Résultats préliminaires

Dans ce poster ne seront présentés que les résultats préliminaires et les optimisations techniques réalisées sur le matériel récolté. Trois cernes de bois pour chaque génotype et chaque saison ont été récoltés (figure 1).

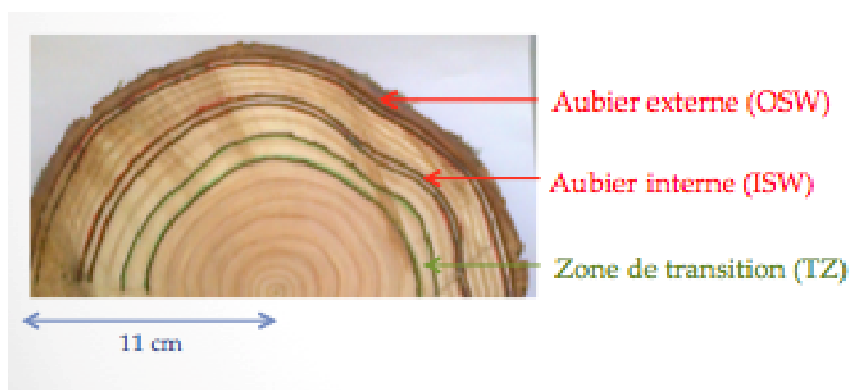


Fig. 1 : Demi-rondelle de douglas présentant un marquage des cerne
correspondants à l'aubier externe (OSW), l'aubier interne (ISW) et la zone de transition (TZ)
utilisés pour l'extraction des ARN totaux

Des optimisations du protocole de Chang *et al.* (1993) ont été réalisées pour permettre d'augmenter les rendements et la qualité des ARN totaux extraits. Enfin une amélioration du protocole de purification des ARNm a été réalisée à partir des protocoles conventionnels et du protocole proposé par Life technologies.

Références

- Chang, S., Puryear, J., & Cairney, J. (1993). A simple and efficient method for isolating RNA from pine trees. *Plant Molecular Biology Reporter*, 11(2), 113-116.
- Frey-Wyssling, A., & Bosshard, H. H. (1959). Cytology of the ray cells in sapwood and heartwood. *Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, 13(5), 129-137.
- Hillis, W. E. (1987). *Heartwood and tree exudates*. Springer-Verlag.
- Hauch, S., & Magel, E. (1998). Extractable activities and protein content of sucrose-phosphate synthase, sucrose synthase and neutral invertase in trunk tissues of *Robinia pseudoacacia L.* are related to cambial wood production and heartwood formation. *Planta*, 207(2), 266-274.
- Magel, E. A. (2000). Biochemistry and physiology of heartwood formation. Savidge, R, A., Barnett, J, R., Napier, R ed (s). *Cell and molecular biology of wood formation. Experimental Biology Reviews...* BIOS Scientific Publishers Ltd.: Oxford, UK, 363-376.
- Plomion, C., Leprovost, G., & Stokes, A. (2001). Wood formation in trees. *Plant physiology*, 127(4), 1513-1523.
- Schrader, S., & Sauter, J. J. (2002). Seasonal changes of sucrose-phosphate synthase and sucrose synthase activities in poplar wood (*Populus canadensis Moench 'robusta'*) and their possible role in carbohydrate metabolism. *Journal of Plant Physiology*, 159(8), 833-843.

C08

Modifications de la composition pariétale du bois et des écorces chez des résineux (Douglas et Mélèze) exposés à une pollution au Cadmium

FAUGERON Céline¹, ASTIER Cédric¹, BONET Amandine¹,
SALADIN Gaëlle¹, GLOAGUEN Vincent¹

¹Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Université de Limoges,

²Faculté des Sciences et Techniques, 123 avenue Albert Thomas 87060 Limoges cedex
celine.faugeron@unilim.fr

Résumé

De nombreux facteurs, d'origines biotiques ou abiotiques, sont susceptibles d'affecter le développement des arbres et parmi eux, la présence d'Eléments Trace Métalliques (ETM) dans le sol. Cependant, les plantes développent différentes stratégies leur permettant de diminuer les impacts de ces polluants sur leur métabolisme comme l'exclusion pour empêcher l'entrée de l'ETM dans la plante, ou la compartimentation pour confiner l'ETM dans des zones de stockage. Ce confinement s'accompagne souvent de la production de molécules capables de chélater les cations métalliques comme des acides organiques ou des oligopeptides. Chez les ligneux, la biomasse aérienne est essentiellement constituée par les parties pérennes, bois et écorces, et ces dernières ont montré de bonnes capacités de rétention des ETM (Martin-Dupont *et al.*, 2002). Ainsi, l'objectif de cette étude a été de caractériser les variations de composition du bois et des écorces d'arbres chez plusieurs espèces de conifères : le sapin de Douglas et le Mélèze.

Des jeunes arbres ont été cultivés sous serre sur des sols artificiellement contaminés en Cadmium pendant environ 9 mois. Les doses appliquées (jusqu'à 68 mg.kg⁻¹) correspondaient à des sols moyennement pollués. Que ce soit le Douglas ou le Mélèze, ces jeunes arbres ont montré de bonnes capacités de tolérance puisqu'aucun effet significatif sur la croissance n'a été observé. Le Cadmium est pourtant transféré vers les parties aériennes et les écorces apparaissent comme le compartiment le plus riche comme chez le Douglas (Astier *et al.* 2014) où sa teneur s'élève à 6 mg/kg MS (pour une teneur dans le sol de 68 mg.kg⁻¹). La caractérisation de la composition chimique du bois et des écorces a alors été entreprise en apportant une attention particulière aux parois cellulaires. Ses composants ont été extraits et analysés et des variations pour certains polymères pariétaux ont été observées suite à l'exposition au Cadmium, notamment une diminution de la teneur en lignines et une augmentation de la teneur en pectines. Ces dernières montrent de plus une diminution de leur acidité (degré de méthylestérification), ce qui suggère que des mécanismes de régulation de la biosynthèse et/ou de la modification des composés pariétaux du bois et des écorces entrent en jeu au cours de l'exposition aux ETM.

Références

Astier C., Gloaguen V., Faugeron C. (2014) Phytoremediation of cadmium-contaminated soils by young Douglas fir trees: effects of cadmium exposure on cell wall composition. *International Journal of Phytoremediation* 16 (7-8) : 790-803.
F. Martin-Dupont, V. Gloaguen, R. Granet, M. Guilloton, H. Morvan, P. Krausz, (2002) Heavy metal adsorption by crude coniferous barks: a modelling study. *Journal of environmental science and health, A*, 37 (6): 1063-1073.

C09

Réticulation de fibres lignocellulosiques et d'amidon Vers de nouveaux matériaux pour l'industrie papetière

ELCHINGER Pierre-Henri^{1,2}, LEPETIT Amaury^{1,2}
MONTPLAISIR Daniel², ZERROUKI Chouki³, ZERROUKI Rachida¹

¹Laboratoire de chimie des substances naturelles, Université de Limoges,
123 avenue Albert Thomas 87060 Limoges, France

²Centre de Recherche sur les Matériaux Lignocellulosiques, Université du Québec à Trois-Rivières,
3351 boul. des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières (QC) G9A 5H7, Canada

³SATIE, UMR 8029 CNRS-ENS Cachan-Cnam, 292 rue Saint Martin, 75003, Paris, France
Rachida.zerrouki@unilim.fr

Résumé

L'augmentation du prix des matières premières, de l'énergie ainsi que le développement des réseaux de communication, d'internet, de l'électronique et du numérique a mené à une baisse considérable de la consommation de papiers journaux et papiers d'impression, ce qui n'a pas manqué de toucher sévèrement l'industrie des pâtes et papiers. En revanche, le marché des papiers spécialisés, tels les cartons et papiers d'emballage, résiste mieux à l'épreuve du temps. Il devient donc important pour les fabricants de pâtes et papier de se « recycler » en développant de nouveaux débouchés pour leurs productions, aussi bien pour les pâtes à papier que pour leurs coproduits et les ressources forestières.

Basé sur le savoir-faire du laboratoire de Chimie des Substances Naturelles dans le domaine des polysaccharides, nous nous sommes intéressés à la modification chimique des fibres de la pâte à papier dans le but de développer de nouveaux moyens de valorisation.

De nos jours, les enjeux environnementaux prennent une place de plus en plus importante au sein de nos sociétés. Il en va de même pour le domaine de la chimie. Sans pour autant parler de chimie verte, qui reste un idéal, une chimie plus responsable de ses sous-produits, et moins consommatrice d'énergie, doit rester un paramètre essentiel, pour le choix des stratégies de synthèses. C'est avec ce prérequis, que nous avons entrepris nos travaux de recherche sur les pâtes papetières.

L'objectif de ce projet est la mise au point d'une réaction de réticulation entre l'amidon et les fibres lignocellulosiques de la pâte à papier. Cette réticulation présente l'avantage, de créer un réseau tridimensionnel renforcé, conduisant à de nouveaux matériaux présentant de nouvelles caractéristiques physiques.

Il faut rappeler que les amidons modifiés sont utilisés dans l'industrie du papier pour améliorer les propriétés de résistance et de surface des feuilles. Les amidons cationiques par exemple, renforcent les liens entre les fibres de cellulose de la pâte, en augmentant ainsi la résistance du papier.

Nous avons choisi la cycloaddition 1,3-dipolaire de Huisgen catalysée par le cuivre pour réaliser la réticulation, et avons expérimenté deux approches de synthèse. D'une part, l'amidon propargylé a été couplé aux fibres de pâte kraft azidé, et d'autre part, l'amidon azidé a été couplé aux fibres lignocellulosiques propargylées (Fig. 1).

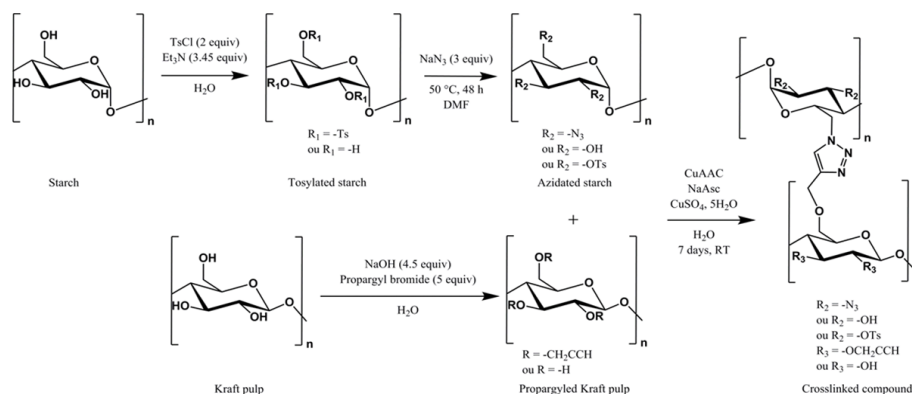


Fig. 1 : Schéma général de la réticulation

L'évaluation des propriétés physiques des différentes feuilles intégrant des fibres lignocellulosiques modifiées (propargylées, réticulées), et des amidons modifiés (tosylés, azidés), a été surprenante. Les valeurs de résistance des feuilles contenant les précurseurs nécessaires au couplage ou le produit de couplage lui-même, ce sont montrées nettement supérieures aux feuilles de pâte Kraft de références (tableau).

 Tab. 1 : Variation des propriétés optiques
et mécaniques de feuilles contenant des fibres modifiées

	Variation-(in-%)-of-physical-properties-of-samples-containing-starch,modified-starch,modified-fibers,or-crosslinked-Kraft-pulp,compared-to-reference-sample-with-unmodified-Kraft-fibers.							
	Kraft-fibers-(control)	Starch	Tosyl-Starch	Azido-Starch	NaOH-treated-Kraft-pulp	Propargylated-Kraft-pulp	Crosslinked-Kraft-pulp-25%	Crosslinked-Kraft-pulp-50%
Opacity	79.5%	-3.8	-2.8	-3.11	-2.6	+0.7	-1.5	-2.6
Whiteness	78.1%	-0.1	+0.3	+0.4	+0.9	-4.5	+7.4	+3.5
Tear-index	4.04 mN.m ² .g ⁻²	-16.4	-16.7	+4.6	-23.9	+13.2	+87.3	+71.9
Break-index	2.38.km	-16.1	-19.2	+11.7	-31.0	-3.4	+24.1	+43.9
Elongation	1.68.%	+4.8	+17.3	+25.6	-29.1	-0.6	+89.2	+173.5
Burst-index	1.54 kPa.m ² .kg ⁻¹	+18.9	+12.2	+90	-44.4	+13.3	+97.8	+136.7

Références

Kraft pulp-starch covalent linking: A promising route to a new material. P.-H. Elchinger, H. Awada, R. Zerrouki, D. Montplaisir, R. Zerrouki. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2014, 53 (18), 7604-7610.

Crosslinked cellulose developed by CuAAC, a route to new materials. P.-A. Faugeras, F. Brouillette, R. Zerrouki. *Carbohydrate Research*, 356, (2012), 247-251.

P.-H. Elchinger, P.-A. Faugeras, C. Zerrouki, D. Montplaisir, F. Brouillette, R. Zerrouki, Tosylcellulose synthesis in aqueous medium, *Green Chem.*, 2012,14, 3126-3131.

Polysaccharides: The "Click" Chemistry Impact. P.-H. Elchinger, P.-A. Faugeras, B. Boëns, F.Brouillette, D. Montplaisir, R. Zerrouki, R. Lucas. *Polymers*3, (2011), 1607-1651.

Advances in cellulose chemistry - Microwave-assisted synthesis of propargylcellulose in aqueous medium. P. -A. Faugeras, P. -H. Elchinger, F. Brouillette, D. Montplaisir, R. Zerrouki. *Green Chemistry*, 2012, 14 (3), 598-600.

Starch-Cellulose Crosslinking-Towards a new material. P.-H. Elchinger, D. Montplaisir, R. Zerrouki. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87, 1886-1890.

Selective crosslinking of Kraft pulp fibres by click chemistry – Characterisation of the properties of reaction intermediates and final product. P. -A. Faugeras, R. Zerrouki, F. Brouillette,. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2014, sous presse.

C10

Elaboration de matériaux bioactifs à partir de fibres lignocellulosiques

NZAMBE TA KEKI Jean Kerim¹, OUK Tan-Sothéa¹, ZERROUKI Rachida¹,
FAUGERAS Pierre-Antoine¹, SOL Vincent¹, BROUILLETTE François²

¹Laboratoire de chimie des substances naturelles, Université de Limoges,
123 avenue Albert Thomas 87060 Limoges, France

²Centre de Recherche sur les Matériaux Lignocellulosiques,
Université du Québec à Trois-Rivières, 3351 boul. des Forges, C.P. 500,
Trois-Rivières (QC) G9A 5H7 Canada
jean-kerim.nzambe@etu.unilim.fr

Résumé

Les contaminations des surfaces constituent un problème majeur de santé public rencontré dans plusieurs secteurs tels que les milieux hospitaliers et l'industrie alimentaire. Cette contamination consiste en l'adhésion de bactéries pathogènes ou opportunistes qui peuvent former des biofilms.^a Ces biofilms sont potentiellement des sources de développement et de prolifération des bactéries. Une voie efficace de lutte contre la contamination microbienne est l'élaboration de surfaces bactéricides visant à empêcher ou diminuer l'adhésion bactérienne.

Basé sur le savoir-faire du laboratoire de Chimie des Substances Naturelles dans le domaine des polysaccharides, nous avons entrepris d'élaborer des supports antibactériens en fixant de manière covalente des molécules aux propriétés antibactériennes sur des fibres lignocellulosiques de pâte à papier (la pâte Kraft).^{b,c} Pour réaliser le lien entre la molécule active et le support, nous avons choisi la réaction de cycloaddition 1,3-dipolaire entre un alcyne et un azoture, créant un lien 1,2,3-triazole.^d Cette réaction se démarque non seulement par la simplicité de sa mise en œuvre mais également par sa fiabilité. De plus, de par la nature de ses conditions opératoires elle s'inscrit dans les principes de Chimie verte. Le lien triazole formé est stable vis-à-vis de l'hydrolyse acide ou basique, et subsiste dans des conditions oxydantes et réductrices. De plus, il s'avère être relativement stable aux dégradations métaboliques tout en ne posant pas de problèmes particuliers de toxicité.

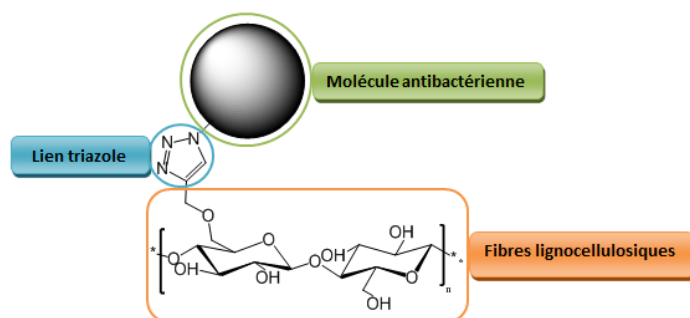


Fig. 1 : Schéma général de greffage des molécules sur la pâte Kraft

Une feuille de papier est préparée à partir du produit de greffage obtenu et l'étude de l'effet antibactérien a montré une activité vis-à-vis notamment de trois souches fréquemment trouvées en milieu hospitalier : *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* et *Escherichia Coli*.

Une telle stratégie constitue une réelle avancée pour la protection de l'environnement. Elle représente une solution durable, non nocive, inscrite dans les principes de chimie verte et industrialisable.

Références

F.Squinazi, (2006), Analyses en microbiologie-Environnement microbien (air, surfaces, eau).

Crosslinked cellulose developed by CuAAC, a route to new materials. P.-A. Faugeras, F. Brouillette, R. Zerrouki. Carbohydrate Research, 356, (2012), 247-251.

P-H. Elchinger, P-A. Faugeras, C. Zerrouki, D. Montplaisir, F. Brouillette, R. Zerrouki, Tosylcellulose synthesis in aqueous medium, Green Chem., 2012,14, 3126-3131.

Polysaccharides: The “Click” Chemistry Impact. P.-H. Elchinger, P. -A. Faugeras, B. Boëns, F.Brouillette, D. Montplaisir, R. Zerrouki, R. Lucas. Polymers3, (2011), 1607-1651.

C11

Les liquides ioniques appliqués à la dissolution du bois

PLAZANET Idelette¹, BOENS Benjamin², MONTPLAISIR Daniel²,
ZERROUKI Rachida¹, COSTA Guy¹

¹Université de Limoges, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles,
123, avenue Albert Thomas, 87060, Limoges, France

²Université du Québec à Trois-Rivières,
Centre de Recherche sur les Matériaux Lignocellulosiques,
3351 boulevard des Forges, C.P. 500 Trois-Rivières (Québec) G9A 5H7 Canada
idelette.plazanet@etu.unilim.fr

Introduction

L'analyse des composés de la paroi, polysaccharides, lignines, glycoprotéines et extractibles, a fait l'objet de nombreuses études. Ces molécules interagissent les une avec les autres via de multiples liaisons chimiques inter et intramoléculaires, rendant ainsi leur purification et leur caractérisation difficile. C'est pourquoi les techniques d'analyse classiquement employées pour l'étude de ces composés sont relativement complexes, couteuses en temps et en matériel végétal. Pour contourner ces difficultés, la mise au point de méthodes d'analyse innovantes et alternatives est nécessaire. La nouvelle méthode que nous allons présenter ici met en jeu les liquides ioniques (ILs). Les ILs sont des solutions salines dont le point de fusion est inférieur à 100°C. Les ILs sont considérés comme étant des « solvants verts », ils présentent une grande stabilité thermique et sont presque complètement non-volatils. L'intérêt des ILs dans le cadre de notre étude repose sur leurs remarquables capacités à dissoudre des composés monomériques ou polymériques, polaires ou non polaires, organiques ou inorganiques (Lee *et al.*, 2005). Il a ainsi été montré que certains ILs pouvaient dissoudre des polysaccharides tels que la chitine (Xie *et al.*, 2006) ou encore la cellulose (Swatloski *et al.*, 2002). Dans le même temps, Vesa et Reijo (2005) ont été les premiers à démontrer qu'il était possible de dissoudre complètement dans un IL (le chlorure de 1-butyl-3-méthyl imidazolium (BmimCl)) des matrices plus complexes telles que du bois. Le principe de la méthode que nous avons développée repose donc sur la dissolution du bois dans un IL suivi de l'analyse des solutions obtenues par des techniques immunologiques utilisant des anticorps monoclonaux dirigés contre des épitopes de polymères pariétaux. Cependant, dans le cadre de ce poster, nous nous attarderons seulement sur la première partie de cette technique, à savoir la dissolution du bois dans divers ILs.

Synthèse de nouveaux liquides ioniques

Un IL est composé d'un anion et d'un cation. Par conséquent, une combinaison presque sans limite d'anions et de cations peuvent être utilisés pour synthétiser les ILs. Dans le cadre de cette étude, plusieurs ILs ont été synthétisés à partir du cation imidazolium avec différentes longueurs de chaînes alkyl : le 1-éthyl-3-méthyl imidazolium (Emim), le 1-butyl-3-méthyl imidazolium (Bmim) ou encore le 1-allyl-3-méthyl imidazolium (Allmim). A ces cations ont été associés différents anions : le bromure (Br⁻), le chlorure (Cl⁻), l'acétate (CH₃COO⁻), le tétrafluoroborate (BF₄⁻), l'hexafluorophosphate (PF₆⁻) ou le dicyanamide (C₂N₃⁻). De nouveaux ILs ont également été synthétisés à partir d'un autre cation (que nous nommerons X car actuellement en cours de publication), associé aux mêmes anions que les précédents. Tous les liquides ioniques synthétisés ont ensuite été caractérisés par RMN.

Les liquides ioniques et la dissolution du bois

La dissolution par les ILs de la cellulose, principal composant du bois, est basée sur la perturbation des liaisons hydrogène inter- et intramoléculaires de la cellulose et la formation de nouvelles

liaisons hydrogène entre les hydroxyles du polysaccharide et l'anion du IL. C'est pourquoi, suivant l'anion du IL, la capacité de ce dernier à dissoudre le bois sera variable. Mais pour un même anion, l'efficacité de dissolution du bois d'un IL varie également en fonction du cation (Mäki-Arvela *et al.*, 2010). Ce travail a donc pour objectif de comparer les potentiels des différents ILs à dissoudre du bois de douglas. Les essais de dissolution étant réalisés par traitement thermique ou bien par activation aux micro-ondes. Les résultats obtenus montrent que le nouveau IL contenant le cation X et l'anion chlorure est le plus efficace pour dissoudre la poudre de bois de douglas. Une dissolution totale du bois étant obtenue après 24h à 105°C (sans agitation). De plus, comme il a déjà été montré par d'autres études (Sun *et al.*, 2009), l'activation aux micro-ondes permet d'accélérer la dissolution du bois. En effet, avec le Emim associé à l'acétate (EmimOAc), plus de 48h à 105°C sont nécessaires pour obtenir une dissolution totale du bois alors que seules 5 min d'activation aux micro-ondes (200W, température maximale programmée de 80°C) sont suffisantes pour obtenir le même effet. Ces résultats montrent donc que la dissolution du bois dans les ILs est une méthode intéressante pour déstructurer rapidement le bois sans avoir à passer par de longues étapes d'extractions séquentielles des composés pariétaux.

Références

- Lee S.H., Lee S.B., (2005) The Hildebrand solubility parameters, cohesive energy densities and internal energies of 1-alkyl-3-methylimidazolium-based room temperature ionic liquids, *Chem. Commun.*, 3469-3471.
- Mäki-Arvela P., Anugwom I., Virtanen P., Sjöholm R., Mikkola J.P., (2010) Dissolution of lignocellulosic materials and its constituents using ionic liquids—a review, *Industrial Crops and Products*, 2010, 32(3) : 175-201.
- Sun N., Rahman M., Qin Y., Maxim M.L., Rodríguez H., Rogers R.D., (2009) Complete dissolution and partial delignification of wood in the ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate, *Green Chem.*, 11 (5): 646–655.
- Swatloski R.P., Spear S.K., Holbrey J.D., Rogers R.D., (2002) Dissolution of cellulose with ionic liquids, *Journal of the American Chemical Society*, 124 (18): 4974–4975.
- Vesa M., Reijo A., (2005) World Intellectual Property Organization Patent WO 017001 A1.
- Xie H., Zhang S., Li S., (2006) Chitin and chitosan dissolved in ionic liquids as reversible sorbents of CO₂, *Green Chem.*, 8 : 630-633.

C13

Etude du bois sous sollicitations hydriques à l'échelle du cerne de croissance par la méthode de la grille

DANG Djily^{1,2}, MOUTOU PITTI Rostand^{1,2}, TOUSSAINT Evelyne^{1,2}, GREDIAC Michel^{1,2}

¹Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France

²CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171, Aubière, France

djily.dang@univ-bpclermont.fr

Matériel et méthode

L'objectif du présent document est de montrer un exemple de résultats obtenus par la méthode de la grille (Badulescu *et al.* 2009) lors de différentes phases d'humidification (Dang 2014) et de séchage du bois. L'essence utilisée est le sapin blanc auvergnat et l'échantillon a pour dimensions (50*49*8 mm³). L'objectif est de soumettre l'échantillon aux sollicitations hydriques et d'évaluer les déformations induites. Pour cela, un dispositif expérimental permettant d'imposer un contact direct d'une des faces (direction tangentielle) du matériau avec de l'eau est proposé. Celui-ci est constitué d'un réservoir parallélépipédique en plastique sur lequel est réalisée une ouverture rectangulaire qui reçoit l'échantillon via un mastic de silicone garantissant une étanchéité sur tout le périmètre de celui-ci. Une grille de pas 0.2 mm est transférée sur la face opposée à celle en contact avec l'eau, permettant ainsi grâce à une caméra CCD d'obtenir des images. Après dépouillement avec Matlab, ces images de grilles conduisent entre autres aux cartes de déformations au cours de l'essai. Les autres faces peuvent être étanches ou pas selon la configuration étudiée. Afin d'étudier l'influence de l'histoire du séchage sur le mécanisme de déformation hydrique du bois, on soumet l'échantillon à des cycles de séchage et d'humidification. Les images enregistrées à différents instants permettent de suivre l'évolution du phénomène de diffusion au sein du matériau en adsorption lors de chacune des trois cas d'humidification étudiés.

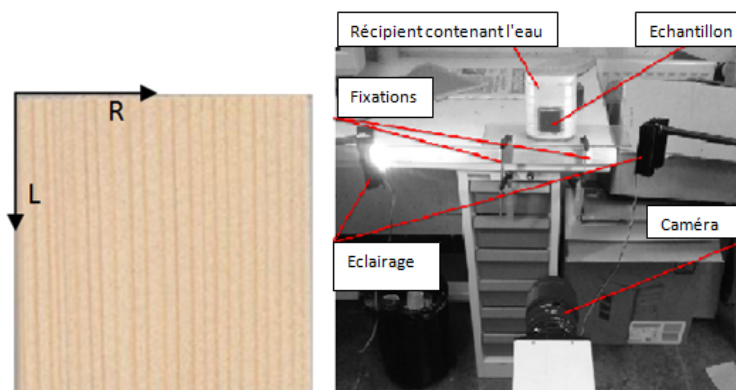


Fig. 1 : Scan de l'échantillon et dispositif expérimental

Résultats et discussions

Après séchage et ré-humidification, le bois de printemps (EW) n'est pas totalement en traction comme il l'était dans la première phase d'humidification. Ce constat est vrai quelles que soient les conditions limites. En effet, lors de la première phase d'humidification, on note d'abord une compression aussi bien du bois d'été (LW) et que du bois de printemps (face en contact avec la grille) puis d'une décompression suivie d'une traction des deux types de bois. Cette tendance reste vraie jusqu'à la fin de l'essai. Une deuxième humidification avec bords étanches montre que dès le début de l'essai il y a de la traction dans le bois d'été et de la compression dans celui de printemps. Ce phénomène serait dû à l'existence de déformations résiduelles lors du premier séchage. Jusqu'à

la fin de l'essai, la traction dans le bois d'été s'accroît tandis que dans le bois de printemps la compression persiste avec une décompression partielle. Ce même phénomène est observé lors d'une troisième humidification après une deuxième phase de séchage avec bords libres. Hormis les observations mentionnées ci-dessus, on remarque que le mécanisme global de déformation est plus uniforme pour les deuxième et troisième humidifications.

Pour la première humidification avec bords libres, au bout de 6,35 heures d'exposition, la déformation moyenne (face support de la grille) sur l'échantillon est de $1,83 \cdot 10^{-2}$. Tandis que le même échantillon séché et soumis de nouveau à l'humidification mais cette fois-ci avec bords étanches, subit une déformation moyenne de $1,51 \cdot 10^{-4}$ au bout de 7,16 heures d'exposition. Lors de la troisième humidification (bords libres) après séchage à l'issue de la deuxième, l'échantillon accuse une déformation moyenne de $5,84 \cdot 10^{-4}$ après 7 heures d'exposition.

En résumé, l'échantillon se déforme plus lors de la première humidification avec bords libres et moins lors de la deuxième humidification avec bords étanches. L'état de déformation est intermédiaire lors de la troisième humidification avec bords libres. Dans les trois cas, la traction est présente dans le bois d'été mais elle est plus accentuée lors de la première humidification. Une campagne d'essai financée par le GDR sera effectuée afin de déterminer les coefficients de diffusion indispensables au modèle numérique.

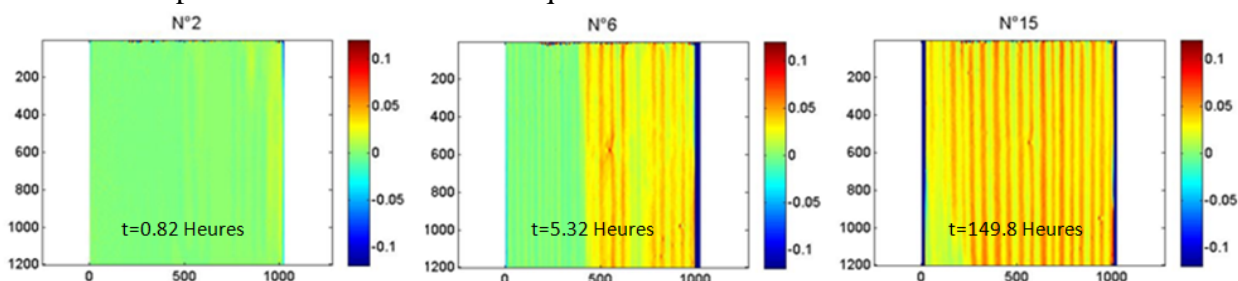


Fig. 2 : Cartes de déformations radiales, 1^{ère} humidification avec bords libres

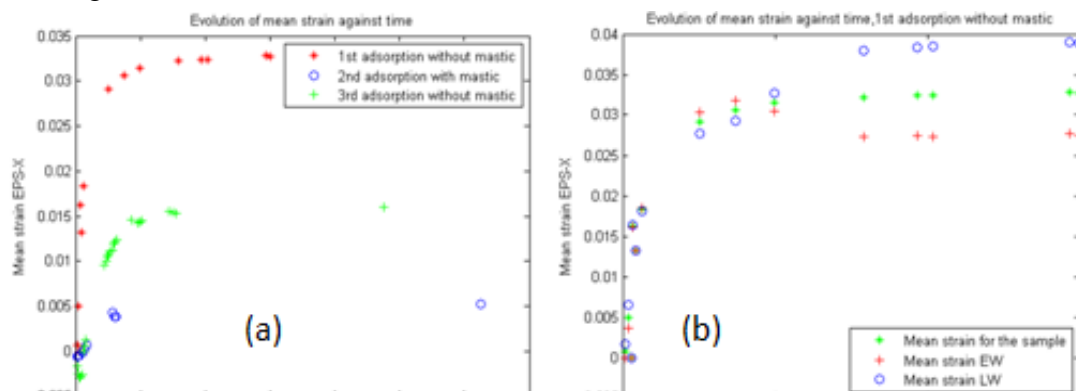


Fig. 3 : Evolutions des déformations : (a) - moyennes globales dans les 3 cas de CL, (b) - moyennes dans les bois d'été et de printemps comparées à celles moyennes globales lors de la 1^{ère} humidification

Références

Badulescu C., Grédiac M., Mathias J.D. (2009) « Investigation of the grid method for accurate in-plane strain measurement », *Measurement Science and Technology*, 20(9):1-17.
 Dang D., Moutou Pitti R., Toussaint E., Grédiac M (2014) « Experimental evidence of water diffusion gradient in wood using the grid method », *Final Cost Action FP0904 Conference*, May 19-21.

Remerciements

Les auteurs remercient Joël Garmy de l'association interprofessionnelle Auvergne Promoboïs pour la fourniture du Sapin Pectiné qui a servi à réaliser ces essais.

C14

Mesures de champs sur une poutre entaillée par la méthode de la grille

FOURNELY Eric^{1,2}, TOUSSAINT Evelyne^{1,2},
MOUTOU PITTİ Rostand^{1,2}, GREDIAC Michel^{1,2}

¹Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

²CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171, Aubière, France

rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr

Introduction

Les poutres treillis normalisées présentent des avantages économiques, écologiques et mécaniques et sont notamment utilisées dans des bâtiments industriels ou des habitations collectives (Fournely et al 2012). Cependant, le cisaillement et la traction perpendiculaire au fil induisent une rupture fragile si ceux-ci sont incontrôlés. Ceci est particulièrement le cas dans les zones d'assemblage notamment lorsque les éléments de poutre sont minces (AFNOR 2005). Cette étude se concentre sur la distribution des déformations dans les diagonales et les membrures des poutres treillis (Fournely et al 2012).

Dispositif et méthode expérimentale

La Fig. 2 présente le dispositif expérimental utilisé lors des essais. Les échantillons de bois sollicités en flexion trois points avec le capteur de charge et les supports de la machine d'essai de capacité 200 kN sont aussi présentés, Fig. 2 (b). Une grille est collée sur la poutre selon une technique proposée dans la littérature (Badulescu et 2009). Elle permet grâce à un traitement spécifique de déterminer des cartographies de déplacements et de déformation entre deux états mécaniques. Les dimensions de l'échantillon ainsi que les orientations des cernes annuels de croissance sont aussi affichées sur la Fig. 1.

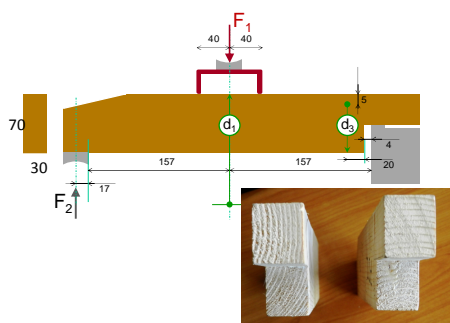
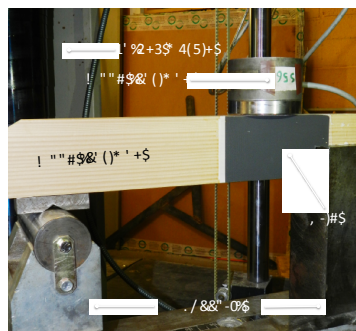


Fig. 1 : Poutre Dorean



(b)

Fig. 2 : Dispositif expérimental

Résultats et discussions

Les Fig. 3 et 4 montrent les résultats expérimentaux des déformations normales verticales et de cisaillement pour la diagonale. Pour la charge appliquée (3137 N), la carte de déformations ϵ_{xy} montre que le maximum de la déformation de cisaillement se trouve entre le bord du support et l'angle droit de l'entaille. On peut aussi observer une propagation nette de fissure pour un effort de 3180 N sur la carte des déformations normales verticales.

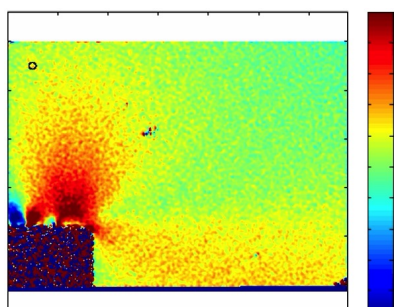


Fig. 3 : Déformation de cisaillement pour $F = 3137$ N

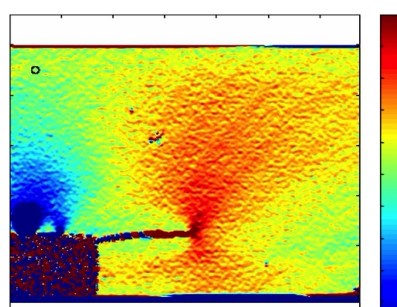


Fig. 4 : Déformations normales verticale et localisation de la fissure pour $F = 3180$ N

La Fig. 5 présente les résultats des déformations normales verticales expérimentales (a) et numériques (b) de la zone de contact précédente pour la membrure. Les isovaleurs numériques varient entre 4.10^{-3} et -4.10^{-3} . Nous observons une distribution rouge dans la zone de contact annonçant une possible initialisation de fissure. Les faibles différences entre les résultats numériques et expérimentaux peuvent se justifier par l'influence de l'orientation des cernes annuels de croissance omis dans cette modélisation. Toutefois, ces cernes sont clairement montrés sur à la Fig. 5 (a) justifiant ainsi l'efficacité de la méthode de la grille.

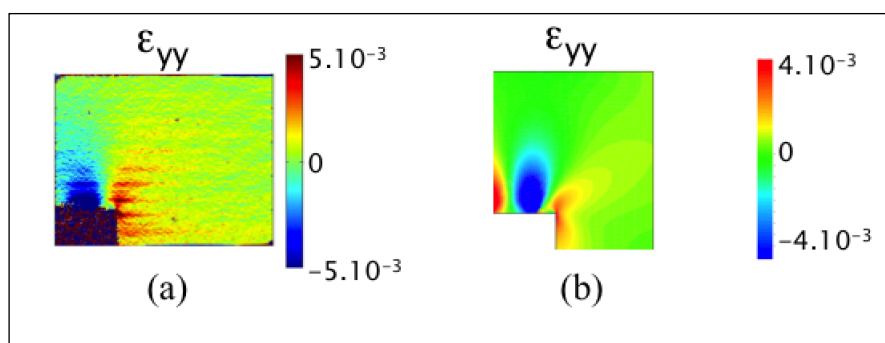


Fig. 5 : Déformations normales verticales : expérimentale (a) ; numériques (b)

Conclusion

En conclusion, ce travail a permis d'appliquer la méthode de la grille afin d'obtenir les déformations verticales et de cisaillement, d'identifier la zone d'initiation de fissure et de suivre sa propagation. Par la suite ces méthodes seront adaptées à l'identification des défauts et de la fissuration des structures bois contrecollées ou non en environnements variables.

Références

- AFNOR, Eurocode 5. Conception et calcul des structures en bois - généralités, règles communes et règles pour les bâtiments, NF EN 1995-1.1, 2005.
- Badulescu C., Grédiac M. and Mathias J.-D. *Investigation of the grid method for accurate in-plane strain measurement*. Measurement Science and Technology, Vol. **20**, N° 9, 2009, article number 095102.
- Fournely E., Moutou Pitti R., Bouchair 2. (2013) Behaviour of timber lattice beam with semi-rigid joints: analytical and experimental study. Pro Ligno, Vol. 8; 2013, 19-41.

C15

Sur une méthode d'indentification des caractéristiques mécaniques du matériau bois

NOUALI Azeddine^{1,2}, MOUTOU PITTI Rostand^{1,2}, DELAUNAY Thomas^{3,4},
RIAH Hassen^{1,2,5}, FOURNELY Eric^{1,2}, LE CLEZIO Emmanuel^{3,4}

¹Clermont Université, UBP, Institut Pascal, Clermont-Ferrand, France

²CNRS, Institut Pascal, 63174 Aubière, France

³Univ. Montpellier, IES, UMR 5214, 34000, Montpellier, France

⁴CNRS, IES, UMR 5214, 34000, Montpellier, France

⁵LARIS, Université de Angers, 49000 Angers, France

rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr

Introduction

La connaissance de l'origine des espèces de bois, de leurs caractéristiques physiques mécaniques... est très importante pour le domaine de la construction en Génie Civil. Dans ce travail, une méthode d'identification des caractéristiques mécaniques du bois ou Technique de Mesure Ultrasonore à Contact direct DUCMT est utilisée (Longo, 2012). Elle est appliquée sur les cubes débités des membrures 1M6 et des diagonales 7D2, Fig. 1 (a), de la poutre treillis, Fig. 1 (b) (Fournely, 2010). Son application est orientée vers le Génie Civil, mais elle peut être utilisée pour bien d'autres.

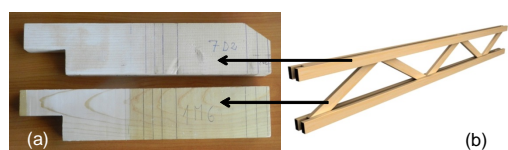


Fig. 1 : Poutre : éléments (a) ; treillis (b)

Tab. 1 : Mesure des composantes diagonales

		Direction de vibration des ondes		
		R	T	L
Direction de propagation des ondes	R	C_{11}	C_{66}	C_{55}
	T	C_{66}	C_{22}	C_{44}
	L	C_{55}	C_{44}	C_{33}

Techniques et méthodes

Les cubes de dimensions sont $30 \times 30 \times 30 \text{ mm}^3$ (Fig. 2). La technique DUCMT consiste à mesurer la vitesse des ultrasons à travers l'échantillon. Pour cela, le cube est excité sur une de ses faces par un des transducteurs ultrasonores qui convertit les oscillations électriques en oscillations acoustiques. Sur la face opposée, le même type de capteur reçoit et transforme les oscillations mécaniques en signaux électriques. La vitesse des ondes se propageant entre deux faces parallèles (Fig. 2) est obtenue en divisant la distance entre ces deux faces par le temps mesuré de parcours de l'onde. La précision de mesure de ce temps est basée sur la précision du matériel utilisé et par la procédure d'autocorrélation entre le signal de mesure et le signal de référence enregistré avec les deux transducteurs. La technique permet d'obtenir toutes les composantes diagonales de la matrice de rigidité élastique de chaque cube. A partir de la vitesse des ondes projetées sur les échantillons, chaque composante C_{ii} est calculée en utilisant la densité ρ selon l'expression suivante $C_{ii} = \rho \cdot V_{ii}^2$. Les C_{ii} sont liées à des vitesses qui dépendent de la direction de propagation de l'onde et celle de leur vibration.

Le Tableau 1 décrit les liens correspondant à différentes orientations. Afin de mieux identifier la matrice de rigidité, les rapports de E_1 , E_2 et ceux de C_{44} , C_{55} sont respectivement comparés à ceux de Guitard (1987). La Fig. 3 (b) illustre le repérage des cubes au sein d'une éprouvette, et celui des faces d'un cube, et par la suite l'évaluation du repère principal d'orthotropie par rapport à ces faces et arrêtes. Ainsi, pour le cube 1M6A, les cotés de la face 1 sont directement orientés suivant L et R.

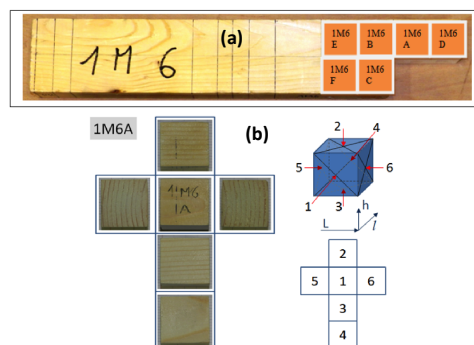
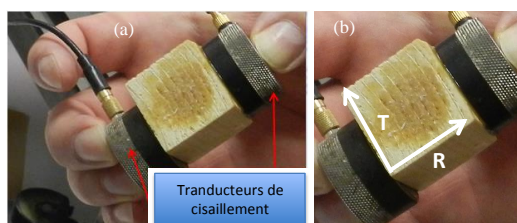


Fig. 2 : Transducteurs (a) en direction RT (b) Fig. 3 : Facette des cubes (b) poutre 1M6 (a)

Résultats et discussions

Si les trois premiers termes de la diagonale sont obtenus par mesure de temps de parcours d'ondes de compression, les trois derniers sont eux obtenus par mesure du temps de parcours d'ondes de cisaillement. Les trois premiers sont définis par une mesure unique sur un signal fort. Les trois derniers ont été mesurés de deux façons en inversant les axes de sollicitation et de propagation. Des différences ont été constatées entre ces deux mesures, ce qui nous permet d'analyser une variabilité sur ces mesures et leurs conséquences sur le calcul des termes extra diagonaux. Une des explications de cette variabilité peut être liée à la courbure des cernes au sein même des cubes. Après comparaison aux données de Guitard, nous obtenons la matrice des constantes élastiques qui correspond à l'épicéa.

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,43 & 0,43 & 0,68 & 0 & 0 & 0 \\ 0,43 & 0,32 & 6,89 & 0 & 0 & 0 \\ 0,68 & 6,89 & 14,44 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,63 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,76 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,58 \end{bmatrix} \times 10^9 \frac{N}{m^2} \quad (1)$$

Conclusions

La méthode de mesure a été appliquée à des cubes taillés suivant les axes d'orthotropie du bois et également sur des cubes dont les arrêtes ne sont pas alignées avec ces axes d'orthotropie. Dans les deux cas la diagonale de la matrice de la loi de comportement élastique a pu être obtenue. La redondance des mesures a permis d'évaluer l'influence des variabilités par rapport à l'hypothèse d'isotropie transverse sur le résultat. D'autres mesures ultrasonores basées sur la résonance de cubes devraient compléter le calcul des termes extra diagonaux y compris avec une hypothèse d'orthotropie complète.

Références

- Fournely E., Moutou Pitti R., Bouchair A. (2012) Behaviour of timber lattice beam with semi-rigid joints: analytical and experimental study. *Pro Ligno*, 8, 19-41.
- Guitard D. (1987) *Mécanique du matériau bois et composites*, Cepadues Editions, p 238.
- Longo R., Delaunay T., Laux D., El Mouridi M., Arnould O., Le Clézio E. (2012) Wood elastic characterization from a single sample by resonant ultrasound spectroscopy, *Ultrasonics* 52, 971-974.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Institut Pascal pour le financement du Master Recherche qui a réalisé ces essais.

C16

Fissuration des rondelles de Sapin blanc du Massif Central suite au séchage naturel

NOUALI Azeddine^{1,2}, MOUTOU PITTI Rostand^{2,3}, FOURNEY Eric^{1,2}, RIAHI Hassen^{1,2,3}

¹Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

²CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171, Aubière, France

³LARIS, Université de Angers, F-49000 Angers, France

rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr

Introduction

Ce travail complète les études bidimensionnelles effectuées par Moutou Pitti (2011) sur des rondelles de diamètre inférieur 10 cm. Dans ce travail, on propose une méthode de mesure 3D par analyse d'images des déformations induites par le séchage naturel d'une rondelle de sapin blanc du Massif Central de diamètre supérieur 25 cm. Lorsque le bois est soumis au séchage il subit des déformations conduisant à sa fissuration. Si on néglige les déformations et les contraintes de croissances piégées dans le bois (Moutou Pitti 2008), ces déformations peuvent conduire à la fissuration.

Dispositifs et méthode expérimentale

Une balance permettant de faire des mesures au 1/100 de gramme est connectée à un ordinateur muni d'un système d'acquisition permettant de mesurer la perte de masse de la rondelle au cours de son séchage. On utilise deux caméras de même type positionnées sur un même support de façon à avoir une vision en 3D de la rondelle, Fig. 1. Les images numériques sont transférées à une cadence prédéterminée sur un PC. Après appariement des cibles leurs coordonnées x, y, z sont calculées, avec une précision de 1/20 000 de la dimension du champ de mesures. Des variations de ces coordonnées sont calculées afin d'obtenir les déformations, par exemple dans un repère cylindrique. La rondelle a une épaisseur de 2cm et le séchage est ici essentiellement longitudinal. La fissuration ultime survient au 5^{ème} jour moyennant une acquisition d'une image/min pour enregistrer le début de fissuration.

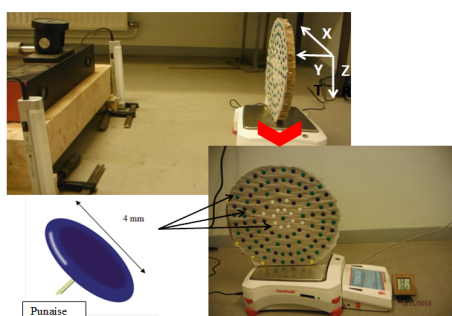


Fig. 1 : Dispositif expérimental

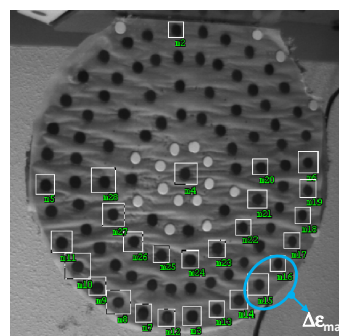


Fig. 2 : Numérotation des cibles

Des punaises de 4 mm diamètre sont placées sur la rondelle de façon concentrique, Fig. 1 et 2. Ces cibles sont à une distance adéquate les unes des autres de façon à ne pas altérer les propriétés mécaniques de la rondelle et modifier sa cinétique naturelle de séchage. Afin d'améliorer le contraste entre les cibles et le support, un calque pré-percé est installé ; le pré-perçage évite la création d'un écran étanche et fragilise le calque en vue d'une éventuelle fissuration. Pour suivre les déformations on utilise une caméra 3D placée en face de la rondelle ciblée, Fig. 2. Celle-ci est positionnée verticalement sur une balance qui mesure la perte de masse toutes les 30 secondes. Au début de l'essai, la balance affiche une masse de rondelle initiale de 1494,97g.

Résultats et discussions

Après quatre jours d'essai, on remarque une perte importante de la masse de la rondelle accompagnée d'une apparition de plusieurs fissures sur sa périphérie. Ces fissures poursuivent leur évolution jusqu'à ce que l'une d'entre elles continue à se propager au moment où les autres commencent à se fermer. Au cinquième jour, la fissure atteint le centre de la rondelle, causant dans le même temps la fermeture des autres fissures, Fig. 3.



Fig. 3 : Fissuration après 5 jours

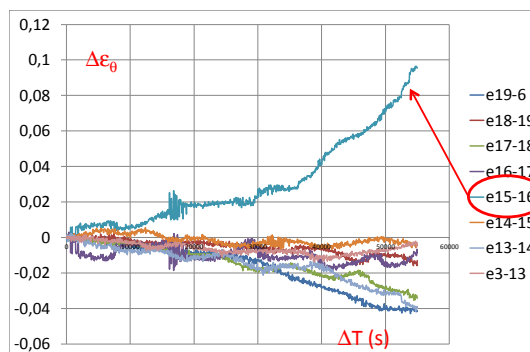


Fig. 4 : Evolution des déformations circonférentielles

La Fig. 4 présente l'évolution des déformations circonférentielles de la rondelle dans le domaine hygroscopique (après atteinte du PSF trois jours après le début de l'expérience). On remarque que les déformations entre les cibles sont différentes et l'écart le plus important est remarqué entre les cibles m15 et m16. En effet, ces cibles sont localisées de part et d'autre de la fissure dominante apparue sur la rondelle.

Conclusion

La méthode employée pour caractériser les déformations dans une rondelle de bois au cours de son séchage naturel, s'est révélée efficace. On a pu montrer la sensibilité du comportement mécanique du bois vis-à-vis de l'humidité relative. La mesure en 3D a permis de s'assurer que la rondelle pendant le séchage n'a pas subi des rotations qui aurait pu entacher les calculs des déformations planes. Ces mesures 3D ont également permis de suivre le différentiel de déformations longitudinales sur la rondelle qui devront être corrélés aux observations d'hétérogénéité. Ces résultats seront consolidés en menant des travaux de recherche suivant trois axes : l'étude de l'effet de la variabilité des propriétés mécaniques du matériau bois sur la cinétique de séchage ; l'étude de l'effet de la cinétique de séchage dans un environnement variable et l'amélioration de précision de l'expérimentation, notamment l'optimisation des localisation des cibles de mesures.

Références

- Moutou Pitti R. Mesure des déplacements par analyse d'images: déformations lors du séchage d'une rondelle de bois vert. EUE, 2012. ISBN: 978-3-8417-9719-3.
- Moutou Pitti R., Dubois F., Sauvat N., Fournely E. Strain analysis in dried green wood: experimentation and modelling approaches. Eng Fract Mech. Vol. 105, 182-199, 2013.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Institut Pascal pour le financement du Master Recherche qui a réalisé ces essais et Joël Garmy de l'Association Auvergne-Promoboïs pour la fourniture des rondelles de Sapin blanc.

C17

PROJET ANR JCJC CLIMBOIS : Modélisation de la rupture en mode mixte dans le bois : prise en compte de la viscoélasticité et de la température

RIAHI Hassen^{1,2,4}, MOUTOU PITTI Rostand^{1,2}, DUBOIS Frédéric³,
ANGELLIER Nicolas³, SAIFOUNI Omar^{1,2}, FOURNELY Eric^{1,2}

¹Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France- ²CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171, Aubière, France- ³GEMH, Université de Limoges, 19300, Egletons, France - ⁴LARIS, Université d'Angers, F-49000 Angers, France
rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr

Introduction

Ce travail, propose un outil numérique destiné à la prédiction de la rupture dans le bois tout en tenant compte de l'effet de chargement thermique et du fluage. Cet outil est basé sur le couplage des intégrales invariantes, pour calculer les paramètres de rupture, avec une procédure de calcul incrémental pour la modélisation de la viscoélasticité.

Méthodologie

L'intégrale A repose sur le développement analytique proposée par Moutou Pitti (2010). Elle permet de prendre en compte, à la fois, l'effet des chargements mécanique et thermique dans les processus de fissuration. Elle prend la forme suivante :

$$A = \int_{\Omega} \frac{1}{2} [\sigma_{ij,k}^v u_i - \sigma_{ij}^u v_{i,k}] \theta_{k,j} dS + \int_{\Omega} \frac{1}{2} [\gamma \Delta T_j (v_k - \psi_k) - \gamma \Delta T (v_{k,j} - \psi_{k,j})] \theta_{k,j} dS + \int_{\Omega} \frac{1}{2} F_i v_{i,j} \theta_j dx_1 \quad (1)$$

Le premier terme de l'intégrale représente l'effet du chargement mécanique appliqué loin du voisinage de la fissure. σ_{ij}^u et σ_{ij}^v sont les composantes des contraintes obtenues respectivement à partir des champs de déplacements réel u et virtuel v . La deuxième intégrale représente l'effet du chargement thermique induit par une variation de température ΔT , avec ψ un champ de déplacement virtuel introduit par Bui (1985). La dernière intégrale représente l'effet d'une pression appliquée sur les lèvres de la fissure. Ainsi, les facteurs d'intensité de contraintes réels, K_I^u et K_{II}^u sont obtenus en prenant deux combinaisons particulières des facteurs de contraintes auxiliaires, K_I^v et K_{II}^v tels que

$$K_I^u = 8 \frac{A(K_I^v = 1, K_{II}^v = 0)}{C_1}; \quad K_{II}^u = 8 \frac{A(K_I^v = 0, K_{II}^v = 1)}{C_2} \quad (2)$$

C_1 et C_2 sont les complaisances élastiques associées respectivement au mode d'ouverture et au mode de cisaillement plan. Cette formulation de l'intégrale A est développée pour un matériau élastique. Malheureusement, elle n'est pas applicable pour le bois qui exhibe un comportement viscoélastique. Dans ce cas, les champs mécaniques sont dépendants du temps et leur calcul n'est pas trivial.

Afin de pallier cette difficulté, la loi de fluage est définie par une équation différentielle basée sur un modèle rhéologique de Kelvin Voigt, Fig. 1. Ainsi, cette loi est fonction des ressorts k_{ijkl}^p et des amortisseurs η_{ijkl}^p du modèle rhéologique. En effet, une composante ϵ_{ijkl} du tenseur de fluage peut être définie par un développement de Dirichlet, Bazant (1973). Le tenseur de déformation peut être déterminé facilement, en utilisant cette définition du tenseur de fluage et une procédure de calcul incrémental.

$$A_v = \sum_{m=0}^N A_v^m$$

Enfin, la formulation viscoélastique de l'intégrale A est définie par la somme $A_v = \sum_{m=0}^N A_v^m$. La quantité A_v^m est calculée à partir de l'équation (1) en utilisant les champs mécaniques réels issus de la réponse de la m ème cellule du modèle rhéologique.

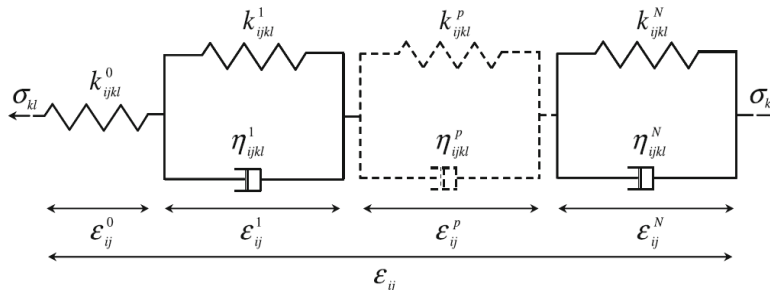


Fig. 1 : Modèle de Kelvin Voigt généralisé

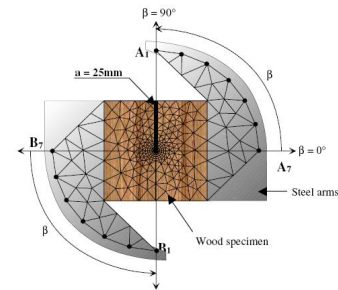
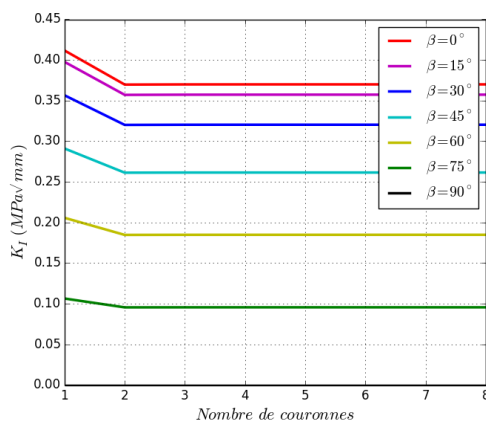
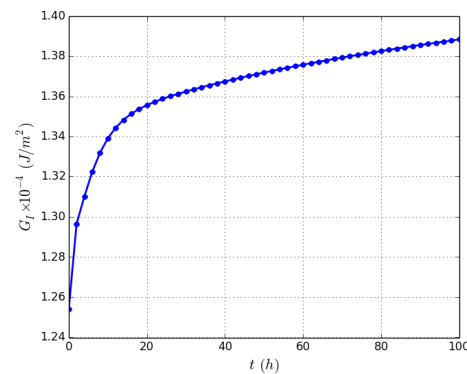


Fig. 2 : Epreuve CTS

Résultats et discussions

Fig. 3 : Convergence de K_I Fig. 4 : Evolution de G_I pour $\Delta T = 25\text{ °C}$

Cette nouvelle formulation est implémentée dans le code de calcul par éléments finis cast3m. Afin d'évaluer la performance de la méthodologie proposée nous avons modélisé une éprouvette CTS en bois, Fig. 2. Cette dernière est couramment utilisée pour des essais de fissuration en mode mixte. Dans un premier temps, nous supposons que le bois a un comportement élastique, et nous nous intéressons à la stabilité du facteur d'intensité de contrainte K_I , Fig. 3, afin de valider l'intégrale proposée. On constate que, quelle que soit l'orientation du chargement, la convergence est toujours assurée lorsque la taille du domaine d'intégration est supérieure à la deuxième couronne. Ce résultat justifie l'indépendance de l'intégrale A et approuve la précision du modèle numérique proposé. Grâce à cette indépendance, la Fig. 4 présente l'évolution du taux de restitution d'énergie viscoélastique G_I en fonction du temps. On constate que G_I augmente au cours du temps. Ce résultat montre clairement, en plus de l'efficacité du modèle, que considérer le bois comme un matériau à comportement élastique dans la modélisation peut conduire à des résultats erronés, puisque sous cette hypothèse les paramètres de rupture sont sous-estimés.

Remerciements

Les auteurs remercient le GDR 3544 « sciences du bois » pour le soutien à la mobilité qui a servi à réaliser ce travail, ainsi que l'ANR pour le financement du projet ANR JCJC CLIMBOIS N° ANR-13-JS09-0003-01.

Références

Moutou Pitti R, Dubois F, Petit Ch. Generalization of T and A integrals to time-dependent materials: analytical formulations. Int J Fract, 161, 187-198, 2010.

Bui H.D, Proix J.M. Découplage des modes mixtes de rupture en thermoélasticité linéaire par des intégrales indépendantes du contour. Acte du Troisième Colloque Tendances Actuelles en Calcul de Structure, Bastia, 631-643, 1985.

Bazant Z.P, Wu S.T. Dirichlet series creep function for aging concrete. Proc ASCE, J Eng Mech Div, 99, 367-387, 1973.

C18

Comportement hydromécanique du sapin blanc du Massif Central

NGUYEN Sung-Lam^{1,3}, SAIFOUNI Omar^{2,3}, DESTREBECQ Jean-François^{1,3}¹Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448,
63000 Clermont-Ferrand, France²Clermont Université, Institut de Mécanique Avancée (IFMA), Institut Pascal,
63171 Aubière, France³CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171 Aubière, France
sung-lam.nguyen@ifma.fr

Introduction

Le comportement hydromécanique du bois est fortement dépendant des variations d'humidité et des effets rhéologiques. L'interaction entre chargement mécanique et variation d'humidité provoque un phénomène de blocage de la déformation en phase de séchage sous contrainte (Gril 1988, Husson *et al.* 2010). Dans un premier temps, des essais mécanosorptifs ont été réalisés pour mettre ce phénomène en évidence dans le cas du sapin blanc (*Abies alba* Mill.). A la lumière des résultats d'essais, un nouveau modèle incrémental à pas de temps fini est ensuite développé. Ce modèle tient compte des couplages entre les effets élastique, viscoélastique et mécanosorptif dans le comportement hydromécanique de cette essence.

Essais mécanosorptifs

Des essais mécanosorptifs en traction longitudinale sont réalisés sur des éprouvettes de 0,77mm d'épaisseur. Pour cela, on fait varier simultanément le chargement mécanique et l'humidité relative (HR) par paliers, avec un déphasage de 15 minutes environ pour chaque incrément (Fig.1). Des essais en fluage et relaxation à différents niveaux d'humidité constante ont montré que l'hypothèse de la viscoélasticité linéaire est applicable. La déformation viscoélastique sous humidité variable est évaluée à l'aide du principe de superposition de Boltzmann. A partir de la déformation totale mesurée au cours de l'essai, et après déduction des parts élastique, retrait/gonflement et viscoélastique de la déformation, on met finalement en évidence l'existence de la déformation hygroverrou (Figure 2).

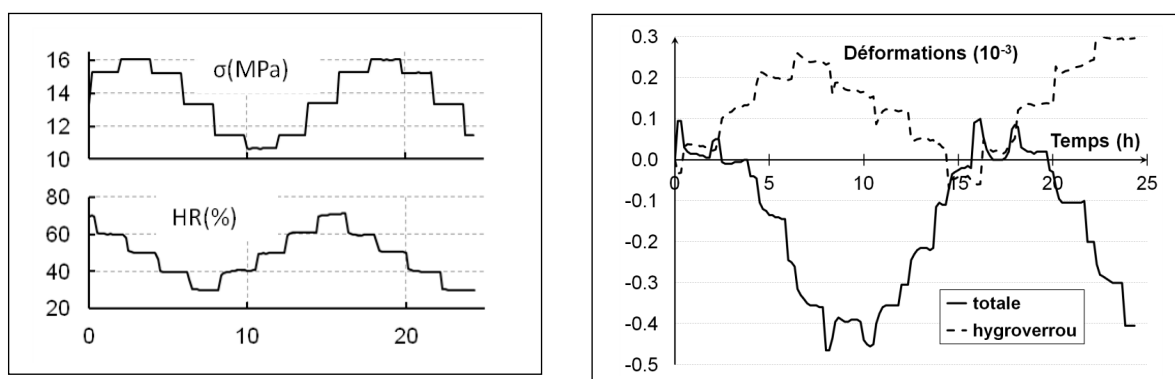


Fig. 1 : Paliers imposés en contrainte et HR Fig. 2 : Déformations mesurée et hygroverrou

L'analyse de ce résultat confirme que, (i) la déformation hygroverrou est créée au cours du séchage sous contrainte, (ii) elle compense alors la variation de déformation élastique due à l'accroissement du module d'élasticité $E(w)$ qui dépend de l'humidité, (iii) durant la phase d'humidification, elle décroît progressivement pour s'annuler totalement lorsque la teneur en eau revient à sa valeur \bar{w} au début de la phase de séchage sous contrainte. On observe également que la déformation

hygroverrou est indépendante du temps durant les paliers de contrainte et d'humidité constantes. Enfin, cet essai montre la pertinence de l'hypothèse de partition de la déformation pour l'analyse du comportement hydromécanique du bois sous contrainte et humidité variables.

Modélisation

Compte tenu des conclusions de l'étude expérimentale, on construit un modèle basé sur l'hypothèse de partition de la déformation, schématisée par le modèle analogique suivant.

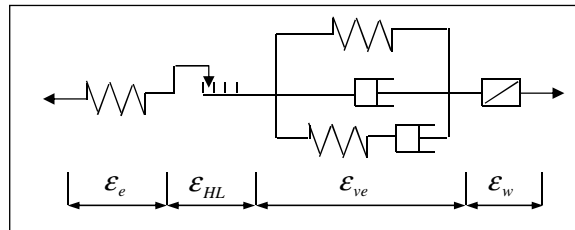


Fig. 3 : Modèle analogique utilisé pour la modélisation : ε_e déformation élastique, ε_{HL} déformation hygroverrou, ε_{ve} déformation viscoélastique pure, ε_w déformation hydrique.

La partie viscoélastique de ce modèle est équivalente à un modèle de Kelvin à 2 cellules sans élasticité instantanée. La partie hygroverrou est en interaction avec la partie élastique. La variation de la déformation totale s'écrit à tout instant :

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_e + \dot{\varepsilon}_{HL} + \dot{\varepsilon}_{ve} + \dot{\varepsilon}_w \quad (1)$$

La loi d'évolution proposée pour la déformation hygroverrou est déduite des observations expérimentales :

$$\dot{\varepsilon}_{HL} = \frac{E'(w)}{E^2(w)} \dot{w} \bar{\sigma} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \dot{w} < 0 : \bar{\sigma} = \sigma \\ \dot{w} > 0 : \bar{\sigma} = \zeta(w) \varepsilon_{HL} \end{cases} \quad \text{où} \quad \zeta(w) = \frac{E(w)E(\bar{w})}{E(w) - E(\bar{w})} \quad (2)$$

L'intégration de l'équation (1) sur un intervalle de temps fini conduit à la forme incrémentale suivante :

$$\forall t, t + \Delta t \quad \Delta \varepsilon = \eta \Delta \sigma + \xi \quad (3)$$

La résolution numérique de cette équation est analogue à celle d'un problème thermoélastique où η joue le rôle d'une complaisance fictive et ξ est un chargement thermique équivalent.

La Figure 4 présente la simulation de la déformation totale mesurée durant l'essai mécanosorptif. Les deux courbes présentent une allure similaire. L'écart entre les deux courbes suggère que la déformation hygroverrou n'est qu'une partie de l'effet mécanosorptif. Le couplage avec le fluage mécanosorptif est une perspective de ce travail.

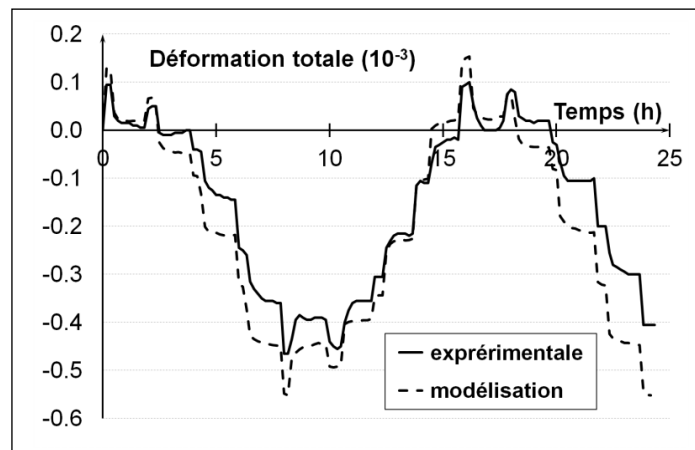


Fig. 4 : Comparaison entre la déformation expérimentale et la déformation simulée

Références

Gril J. (1988) Une modélisation du comportement hygro-rhéologique du bois à partir de sa microstructure. Thèse de doctorat, Université Paris 6.

Husson J.M., Dubois F., Sauvat N. (2010) Elastic response in wood under moisture content variations: analytic development, *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 14:203-217.

C19

**Conception dimensionnement et réalisation
d'un système de rafraîchissement passif air/air à base de bois**EKOMY ANGO Serge¹, MOUTOU PITTIT Rostand^{1,2}, NGUEMA Chancèle¹¹Institut de recherches technologiques (IRT), B.P.14070 IRT Libreville, Gabon²CNRS, Institut Pascal, 63174 Aubière, Franceekomyango@yahoo.fr**Introduction**

Le bois-énergie représente 80 % de la consommation énergétique en Afrique sub-saharienne selon la FAO. Au cours des prochaines années, elle va continuer à augmenter en raison de l'accroissement démographique, de l'exode rural, de la faible accessibilité, du niveau de pauvreté et de la demande énergétique grandissante. Le bois-énergie est souvent utilisé comme énergie domestique. Le mode de production le plus développé est la combustion directe du bois par thermochimique pour une biomasse lignocellulosique. Au Gabon, elle est issue des déchets des menuiseries, des scieries et producteurs de billes de bois. Les équipements utilisés pour la production thermique sont en général ancestraux. Elles n'ont pas pu s'adapter à l'évolution des nouvelles technologies pour diverses raisons.

En ce qui concerne le rafraîchissement des bâtiments, la filière bois-énergie permet de mettre à la disposition de toutes les couches de la population des systèmes de rafraîchissement passifs adaptés à leur environnement.

Dans cette étude, nous présentons la conception détaillée et la fabrication d'un système mixte de rafraîchissement passif à biomasse (le bois et ses résidus) pour les bâtiments. Le travail consiste à étudier la faisabilité du système du point de vue énergétique qui nous permettra d'analyser certains paramètres du bois comme le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur), l'essence, la granulométrie, le taux cendres, le taux d'azote et le taux d'écorce. Ces paramètres seront étudiés en fonction de certaines caractéristiques physiques, géométriques et de l'ambiance du système (les températures et l'humidité).

Principe de fonctionnement du système

Dans un premier temps, à partir de la combustion de la biomasse dans une chaudière, on chauffe le tube 2 (Fig. 1), ce qui permet d'augmenter la température de l'air à la sortie. De ce fait, la différence de densité de l'air entre l'entrée et la sortie du tube 2 joue le rôle d'une force d'entraînement qui permet de faire monter l'air par convection en créant une aspiration d'air au bas de ce tube. Cet air entre dans le tube 2 à partir d'un cylindre entrouvert qui fait tourner l'air rapidement. De ce fait, on crée un tourbillon d'air appelé « effet vortex » dont la force centrifuge crée une dépression et refroidit ainsi l'air au centre du tourbillon. Ensuite on installe le tube 3 au milieu de ce tourbillon où on fait circuler l'air du bâtiment. A partir de l'échange thermique entre les tubes 2 et 3, on diminue la température de l'air du bâtiment.

Résultats et discussions

La conception du système a été réalisée à l'aide du logiciel solidworks, Fig. 2. Les solutions technologiques (choix des formes et assemblages) se fabriquent facilement dans les ateliers locaux.

L'écriture formelle des échanges convecto-radiatifs entre les fumées de combustion et les conduites, conductif entre les conduites ainsi que radiatifs entre ces conduites et l'air en tenant compte des caractéristiques de l'effet vortex nous a permis dimensionner le système dans l'environnement gabonais.

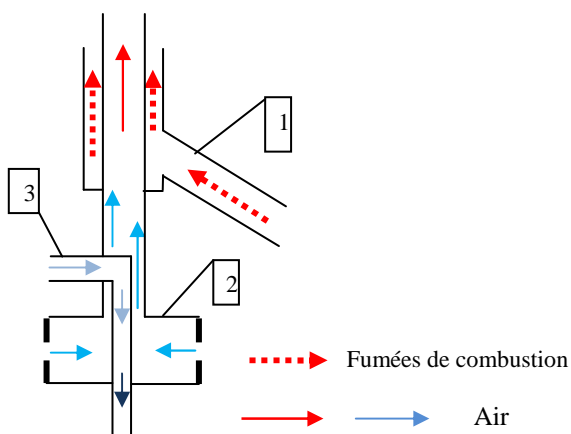


Fig. 4: Principe de fonctionnement

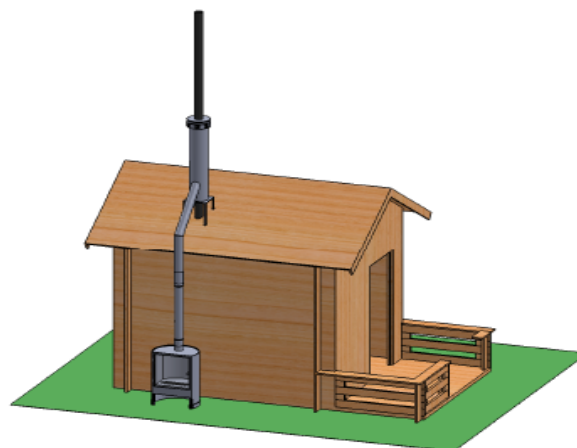


Fig. 5 : Système installé dans une maison en bois

Conclusions

Un premier prototype d'essais et de validation est en cours d'achèvement. Son instrumentation en termes de mesures de températures, humidités, mâchefer, goudronnage et de vitesses de l'air est aujourd'hui définie. L'acquisition des données issues des capteurs correspondants est en cours de finalisation. Une campagne de mesures sur ce système de rafraîchissement, pour un panel de valeurs de ses paramètres de fonctionnement, est prévue à court terme. Ces mesures ont pour but d'appréhender la physique des échanges de chaleur (surtout convection et conduction) et l'effet vortex pour les structures à base de bois.

Références

- Ait S. A. (1988) Génération et détection de tourbillons de Bénard-Karman en hydraulique et aérodynamique. Application à la volumétrie, Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, 215.
- Claude G. (1999) Débitmètres à vortex, technique de l'ingénieur, 17.
- Idel'clik E.I. (1981) Mémento des pertes de charge, collection des directions des études et recherches d'électricité de France, 361.

Remerciements

Les auteurs remercient le GDR 3544 « sciences du bois » pour l'invitation à ces 3^{èmes} journées du GDR.

C20

Événements acoustiques liés au gel de l'eau dans le bois

PONOMARENKO Alexandre¹, AMÉGLIO Thierry¹

¹Laboratoire Physique et Physiologie Intégrative de l'Arbre Fruitier et Forestier (PIAF),
INRA, Clermont-Ferrand
alexpono@gmail.com

Motivation

Le système vasculaire des arbres est une structure formidable, il maintient de grands volumes liquides dans un état métastable pendant de longues durées. L'été, la sève ascendante est sous pression négative à cause de la transpiration foliaire. L'hiver, lorsque la température descend en-dessous de la température de cristallisation de l'eau, de nombreux organes sont susceptibles de geler.

Les conséquences finales du gel sur l'arbre et les mécanismes de protection des parties vitales constituent un domaine d'étude important (Améglio 2001), (Charrier 2014). Nous proposons un zoom sur les mécanismes d'apparition et de propagation du gel dans la structure de l'arbre.

Pourquoi utiliser l'acoustique ?

Le bois est un matériau non transparent, il est difficile de l'observer intact sans perturber les mécanismes en action. Une solution élégante est d'utiliser des micros de contact comme c'est le cas pour le suivi de structures, par exemple un pont, (Grosse 2008) ou de bois en condition de sécheresse (Vergeynst 2014).

Des mesures acoustiques ont été faites sur des branches qui gèlent. De nombreux sons sont enregistrés à la chute de température, sur des températures allant de -5°C à -15°C. Les sons peuvent avoir pour origine la formation de la glace, la fracture du bois dans les différents tissus de l'arbre. Nous nous posons les questions suivantes: quel mécanisme est à l'origine des sons? si il y a plusieurs mécanismes, est-ce possible de les distinguer avec l'acoustique? est-ce possible de distinguer aussi la prise en glace dans les différents tissus de l'arbre ?

Répondre à ces questions va aider à comprendre la dynamique de la prise en glace des arbres.

Comment déterminer l'origine des sons ?

Pour répondre aux questions posées plus haut, nous développons un système où nous observons la prise en glace à la fois avec une caméra et des micros de contact. Cela va nous permettre de comprendre l'origine des sons enregistrés.

Nous procédons en 2 étapes:

1. Nous faisons geler de l'eau dans des tubes capillaires, ainsi nous observons, avec l'acoustique et l'optique, l'eau qui se trouve dans une géométrie proche de celle que l'on retrouve dans l'arbre. Le tube capillaire est notre vaisseau conducteur de sève modèle.
2. Nous étudions la prise en glace d'une inclusion de bois dans un hydrogel transparent. L'inclusion est une lamelle de bois d'une épaisseur de 50µm qui est ainsi transparente à la lumière, l'hydrogel permet d'isoler la lamelle de l'invasion d'air (Ponomarenko 2014). Cette expérience fait vraiment le pont entre l'expérience modèle avec le tube capillaire et les études sur de vrais arbres. Elle nous permet de corréler les événements acoustiques avec nos observations optiques lors de la prise en glace.

Références

Améglio T., Cochard H., Ewers F. (2001) Stem diameter variations and cold hardiness in walnut trees, *Journal of Experimental botany*, vol. 52, No. 364, 2135-2142.

- Charrier G. , Charra-Vaskou K., Kasuga J., Cochard H., Mayr S., and Améglio T. (2014) Freeze-Thaw Stress: Effects of Temperature on Hydraulic Conductivity and Ultrasonic Activity in Ten Woody Angiosperms, *Plant Physiology*, vol. 164, 992-998.
- Grosse C., Masayasu O. (2008) *Acoustic emission testing*. Berlin, Germany: Springer.
- Vergeynst L., Dierick M., Bogaerts J., Chudde V., Steppe K. (2014) Cavitation: a blessing in disguise? New method to establish vulnerability curves and assess hydraulic capacitance of woody tissues, *Tree Physiology*, 00, 1-10.
- Ponomarenko A., Vincent O., Pietriga A., Cochard H., Badel É., Marmottant P. (2014) Ultrasonic emissions reveal individual cavitation bubbles in water-stressed wood, *Journal of the Royal Society Interface*, 11, 20140480, 1-7.

C21

Rôle des interactions azote x eau du sol dans les rapports de compétition entre plantes, application à la régénération de jeunes plants de Chêne en compétition avec la Molinie

VERNAY Antoine^{1,2}, MALAGOLI Philippe^{2,1},
AMEGLIO Thierry^{1,2}, BALANDIER Philippe³

¹INRA, UMR PIAF, 63100 Clermont-Ferrand, France

²Clermont Université, Université Blaise Pascal, UMR PIAF,
63100 Clermont-Ferrand, France

³Irstea, U.R. Ecosystèmes Forestiers (EFNO), 45290 Nogent-sur-Vernisson, France
ant.vernay@hotmail.fr

Contexte général et objectif

Les prélèvements de bois en forêt seront intensifiés dans les années à venir pour deux raisons. Tout d'abord, la préparation à « l'après-pétrole » passe par l'augmentation des énergies renouvelables (objectif 21 % de la consommation primaire à l'horizon 2020 en France), dont la biomasse pour laquelle la forêt pourrait être un fournisseur important. Par ailleurs, les changements climatiques annoncés à l'échelle de la planète se manifesteront sous nos latitudes par une fréquence accrue des périodes de sécheresse. Or, les peuplements forestiers denses ont une forte consommation en eau et réduire le nombre d'arbres sur pied pourrait réduire le stress hydrique et l'impact des contraintes hydriques sur le fonctionnement de l'arbre. Enfin, les activités anthropiques sont responsables d'une augmentation significative des dépôts atmosphériques d'azote, entraînant un enrichissement en azote du sol. L'ensemble de ces modifications se traduit par une augmentation des ressources (rayonnement, températures, azote) qui peut favoriser la flore du sous-bois. Or, ces espèces de sous-bois peuvent exercer une compétition forte pour l'accès aux ressources aériennes (rayonnement) et souterraines (eau et éléments nutritifs) vis-à-vis des jeunes plants d'arbre, limitant ainsi leur potentiel de croissance, voire de survie à plus long terme.

L'identification de la succession et/ou de la combinaison des « drivers » pilotant la dominance d'un type d'espèces sur l'autre et la compréhension de leur interaction apparaissent donc cruciales afin d'améliorer la gestion des parcelles forestières dans le cadre des changements de pratique et de climat. Dans le passé, de nombreuses études se sont attachées à étudier le rôle des facteurs de l'environnement pris isolément un par un (par exemple, la compétition pour la lumière) ([Coll, Balandier et al. 2004](#); [Provendier and Balandier 2008](#); [Gaudio, Balandier et al. 2011](#)). Ces études fondatrices ne permettent cependant pas de prédire l'évolution du système face à des changements multiples des variables de l'environnement. Nous proposons donc d'étudier le rôle des interactions multiples dans ces rapports de dominance et, en particulier, de la disponibilité en azote du sol (qui devrait augmenter) et en eau (qui devrait diminuer).

Démarche proposée

L'étude sera réalisée chez le chêne (*Quercus robur* L.) en compétition avec la molinie (*Molinia caerulea* L.), duo fréquent de nos forêts tempérées de plaine. Les travaux préliminaires réalisés au PIAF ont mis en évidence qu'une ouverture du couvert végétal accentuait la captation de l'azote du sol par les herbacées en raison d'un système racinaire plus prospectif et d'une demande en azote plus importante en lien avec une photosynthèse améliorée. Nous proposons de poursuivre cette étude, en modulant la disponibilité en eau du système, qui modifiera à la fois la photosynthèse mais aussi l'alimentation en azote des plants.

Le projet s'appuiera donc sur une caractérisation de la réponse écophysologique du jeune plant de chêne et de l'espèce de sous-bois dans des conditions de nutrition azotée et de disponibilité en eau contrastées en conditions contrôlées, et ce pour des niveaux de rayonnements correspondants à un couvert forestier ouvert ou fermé. Un suivi à la fois de la croissance (biomasse, surface foliaire, croissance racinaire), du développement (date de débourrement) ainsi que des processus d'acquisition des ressources (photosynthèse, absorption de l'azote *via* l'utilisation du ^{15}N , partage de l'eau par l'utilisation du ^{18}O) et de paramètres qualifiant le statut hydrique et azoté des deux espèces concernées (potentiel hydrique de base, $\delta^{13}\text{C}$, quantification des ressources azotées et carbonées *in planta*) permettra d'apporter des éléments de réponse dans une démarche structure-fonction (Fig 1).

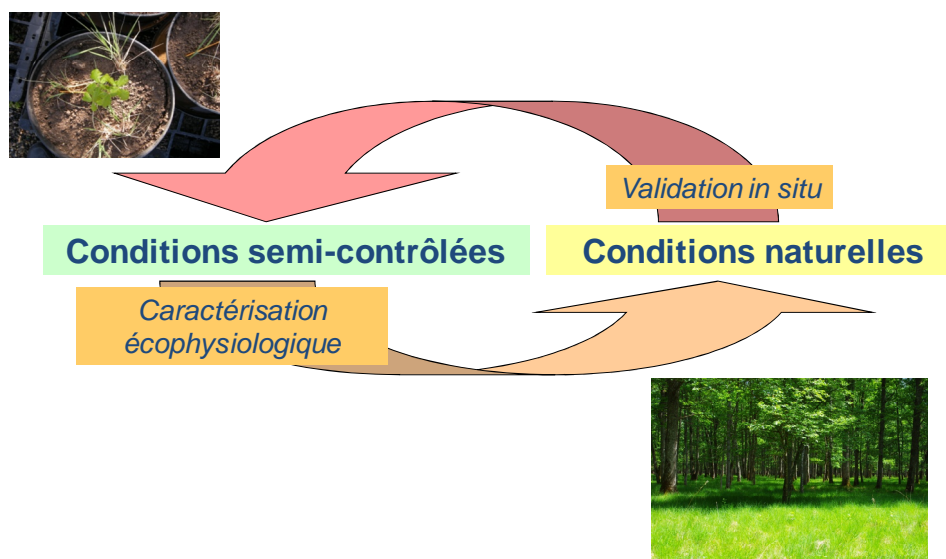


Fig. 1 : Synoptique de la démarche envisagée

Conclusion

Si les résultats sont concluants, ils devraient nous permettre de comprendre comment l'interaction entre l'eau et l'azote du sol, suite à une éclaircie, pilotent les relations de compétition entre les jeunes plants de chêne et de molinie en terme de réponse précoce. L'application directe de tels résultats serait de proposer une gestion forestière économisant la ressource hydrique, c'est-à-dire permettant des éclaircies sans que ces dernières ne favorisent trop la molinie compétitrice des jeunes plants de chêne.

Références

- Coll, L., P. Balandier, et al. (2004). "Morphological and physiological responses of beech (*Fagus sylvatica*) seedlings to grass-induced belowground competition." *Tree Physiology* 24(1): 45-54.
- Gaudio, N., P. Balandier, et al. (2011). "Light-mediated influence of three understorey species (*Calluna vulgaris*, *Pteridium aquilinum*, *Molinia caerulea*) on the growth of *Pinus sylvestris* seedlings." *European Journal of Forest Research* 130(1): 77-89.
- Provendier, D. and P. Balandier (2008). "Compared effects of competition by grasses (Graminoids) and broom (*Cytisus scoparius*) on growth and functional traits of beech saplings (*Fagus sylvatica*)." *Annals of Forest Science* 65(5).

Mots-clefs : Azote, compétition, eau, éclaircie, *Molinia caerulea* L., *Quercus robur* L., sol.

C22

Pourquoi les petits arbres produisent du bois de mauvaise qualité mécanique ?

DLOUHA Jana^{1,2}, ROUX Florian^{1,2}, FOURNIER Meriem^{1,2}

¹INRA, UMR 1092 Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois (LERFoB),
Centre INRA de Nancy-Lorraine, 54280 Champenoux, France

²AgroParisTech, UMR 1092, Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois (LERFoB), 54000
Nancy, France

jana.dlouha@nancy.inra.fr

Résumé

La fable de la Fontaine (1668) illustre deux stratégies extrêmes d'adaptation de l'arbre à un environnement mécaniquement contraignant, en prenant l'exemple du Chêne qui augmenterait sa résistance et du Roseau qui augmenterait au contraire sa déformabilité. De fait, la résistance d'une tige est d'abord liée à son diamètre, et donc contrôlée par la croissance en épaisseur, tandis que la flexibilité d'un arbre de diamètre donné dépend des propriétés mécaniques du matériau, plus précisément de sa limite de déformation élastique. De plus, la force de trainée du vent dépend de la dimension de la couronne qui détermine la prise au vent. La hauteur de l'arbre agit alors comme bras de levier amplificateur. Pour changer sa stratégie du roseau au chêne, l'arbre est donc susceptible d'ajuster les propriétés du bois au fur et à mesure de sa croissance en épaisseur. Les variations radiales de propriétés du bois, appelées transition du bois juvénile au bois adulte, ont été largement étudiées par les technologues du bois, qui ont montré plusieurs types de variations dépendant de l'espèce, du traitement sylvicole, ou des conditions de croissance, sans explication du pourquoi de patrons différents (Zobel and Sprague 1998). C'est seulement récemment que des hypothèses sur la valeur adaptative des propriétés du bois ont été avancées (Lachenbruch, Moore et al. 2011).

Ce travail analyse la trajectoire ontogénique (i) des paramètres morphologiques de l'arbre indicatifs de sa sécurité face au vent et (ii) des propriétés du bois (densité, angle des microfibrilles) indicatifs de la résistance/déformabilité du matériau bois sur un échantillon de 18 arbres de Douglas âgé de 65ans représentant différents statuts sociaux et traitements sylvicoles. L'analyse de tige est utilisée pour retracer la croissance en hauteur et en diamètre. La projection du houppier est mesurée au stade final *i.e.* avant l'abattage. La variation radiale de densité est mesurée par microtomographie et la variation de l'angle des microfibrilles par diffractomètre à rayon X.

La sécurité face au vent peut s'approximer par la relation suivante (Fournier, Dlouha et al. 2013) :

$$SW \sim D^3 \cdot \sigma_{\max} / (H \cdot A),$$

où D représente le diamètre de l'arbre, σ_{\max} la résistance à la compression, H la hauteur de l'arbre et A l'aire du houppier exposé au vent. En analysant la sécurité au vent des arbres adultes, on montre que l'aire du houppier exposé au vent est étroitement lié au diamètre au carré donc le rapport hauteur sur diamètre reste un bon proxy de la sécurité au vent pour une comparaison intraspécifique à l'âge adulte. Par ailleurs le statut social affecte ce rapport, les arbres dominants plus exposés au vent ayant une sécurité significativement plus élevée en comparaison avec les arbres dominés protégés par la canopée. Pour la comparaison des cinétiques des transitions à l'échelle de l'arbre et à l'échelle du matériau afin de confronter ou infirmer l'hypothèse de la valeur adaptative du bois juvénile dans la stratégie de l'arbre à résister au vent, nous sommes en attente des résultats de mesure des angles de microfibrilles.

Financement

Ce projet est soutenu par l'ANR via le programme « Investissements d'avenir » ANR 11- LABX-0002-01, Laboratoire d' Excellence ARBRE.

Références

- Fournier, M., J. Dlouha, et al. (2013). "Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength." *Journal of Experimental Botany* 64(15): 4793-4815.
- La Fontaine, J. d. (1668). *Le Chêne et le Roseau*. Livre 1, 22. Fables choisies mises en vers. Paris.
- Lachenbruch, B., J. R. Moore, et al. (2011). Radial variation in wood structure and function in woody plants, and hypotheses for its occurrence. Size-and age-related changes in tree structure and function. F. C. Meinzer, B. Lachenbruch and T. E. Dawson, Springer Netherlands: 121-164.
- Zobel, B. J. and J. R. Sprague (1998). *Juvenile wood in forest trees*. Berlin [etc.], Springer.

Mots-clefs : Biomécanique de l'arbre – Résistance au vent –Transition juvénile.

C23

Activité « Anatomie quantitative et Formation du bois » de la plate-forme Xylosciences

HARROUE Maryline¹

¹INRA, UMR 1092 Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois,
Centre INRA de Nancy-Lorraine, 54280 Champenoux, France
mharroue@nancy.inra.fr

Introduction

La plate-forme Xylosciences mutualise des équipements scientifiques permettant d'accéder aux différentes échelles du bois et aux questions de recherche afférentes. Elle fédère ainsi des compétences humaines, des équipements remarquables, et plusieurs chaînes de mesures et d'analyses permettant de couvrir les différentes modalités de variations des matériels étudiés. Hébergé par 2 laboratoires localisés autour de Nancy, le Lerfob et le Lermab, elle est ouverte aux autres acteurs impliqués dans ces thématiques.

Contexte

Les recherches menées autour de la plate-forme ont pour objectif une caractérisation intégrée de la ressource Forêt – Bois aux différentes échelles d'observation pertinentes : formes et volumes d'arbres à l'échelle de la placette forestière ; croissance et ramification, et les variations de densités associées, dans l'arbre ; variations de densité, de structure et de propriétés aux échelles du tissu et/ou des cellules ; caractéristiques chimiques et répercussions sur les possibilités de transformation enfin.

Présentation de l'activité accompagnée de quelques résultats marquants

Parmi les différentes activités développées au sein de la plate-forme, on retrouve celle concernant l'anatomie quantitative et la formation du bois. En effet, la structure anatomique du bois constitue un lien précieux entre les aspects biologiques et technologiques et représente en tant que telle, une source d'information fondamentale sur le déterminisme de la formation ainsi que la qualité du bois. L'agencement des éléments anatomiques, mis à part la fixité du plan ligneux, ne suit pourtant pas de règles d'organisation évidentes ou simples. Chacun des éléments constituant le plan ligneux est susceptible de présenter une variabilité importante quant à ses dimensions, sa structure, sa composition, son nombre, son importance ou sa position relative. L'anatomie quantitative est une discipline scientifique qui s'efforce de quantifier ces caractéristiques anatomiques.

L'ensemble des équipements disponibles au sein de la plate-forme (https://www6.nancy.inra.fr/plateau_xylosciences_lerfob/Equipements) associés à notre expertise technique et scientifique (Rathgeber et al. 2011) nous permettent d'avancer sur de nombreuses thématiques scientifiques telles que :

- ✓ la dynamique intra-annuelle de la formation du bois des conifères (Cuny et al. 2012), via la mise en œuvre d'un protocole (Harroué et al. 2011) comprenant la réalisation de coupes minces de 5 µm (figure 1) après inclusion en paraffine de microcarottes, la coloration de ces coupes et leur observation ;

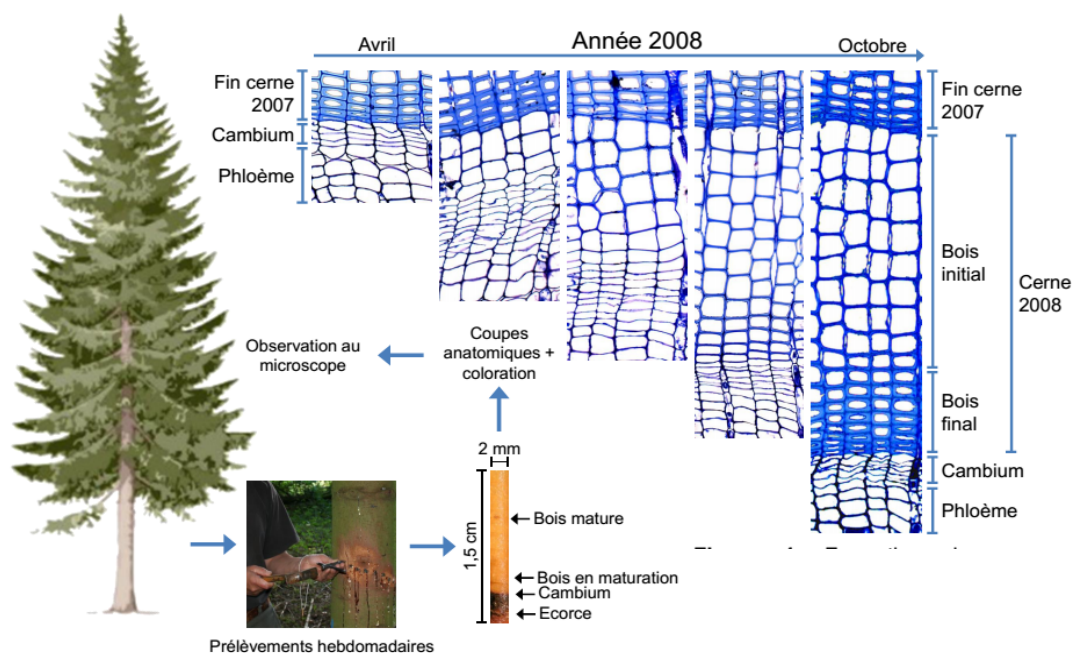


Fig. 1 : Formation du cerne annuel de bois d'un épicéa observée en microscopie optique (x100) au cours de l'année 2008

- ✓ la comparaison de l'anatomie de brins de taillis et de futaie de chêne sessile. Ce travail s'inscrit dans le cadre de projet ANR DENDRAC (<http://dendrac.mnhn.fr/>) dont l'objectif est de mieux comprendre les pratiques humaines sur l'environnement et l'usage que faisait l'Homme du bois par l'exploitation de l'information contenue dans les cernes ;
- ✓ l'étude des variations radiales des propriétés du bois de Sengon (*Paraserianthes falcata*) et de Jabon (*Anthocephalus cadamba*), par l'observation de caractères anatomiques dont les variations suivent le patron typique juvénile/mature (caractéristiques des vaisseaux et des fibres), amenant un éclairage sur l'influence de la sylviculture sur la qualité du bois de ces deux espèces à croissance rapide d'Indonésie (Fajriani et al. 2013).

Références

Cuny H., Rathgeber C. B. K., Lebourgeois F., Fortin M. & Fournier M. (2012) Life strategy in intra-annual dynamics of wood formation: example of three conifer species in a temperate forest in north-east France, *Tree Physiology* 32 : 612-625.

Fajriani E., Ruelle J., Dlouha J., Fournier M., Hadi Y.S., Darmawan W. (2013) Radial variation of wood properties of Sengon (*Paraserianthes falcata*) and Jabon (*Anthocephalus cadamba*), *Journal of the Indian Academy of Wood Science* (DOI : 10.1007/s13196-013-0101-z).

Harroué M., Cornu E. & Rathgeber C. B. K. (2011), Méthodes de prélèvement et de préparation des échantillons pour l'étude de l'activité cambiale et de la formation du bois, *Cahier des Techniques de l'INRA* 73: 45-62.

Rathgeber CBK, Longuetaud F, Mothe F, Cuny H, Le Moguédec G. (2011), Phenology of wood formation: Data processing, analysis and visualisation using R (package CAVIAR). *Dendrochronologia*, 29: 139-149.

Mots-clés : Activité cambiale, Anatomie quantitative, Outil collectif.

C24

Etude la variabilité intra-spécifique et intra-arbre des extractibles nodaux chez le sapin pectiné selon différentes conditions de croissance

KEBBI-BENKEDER Zineb¹⁻², COLIN Francis¹,
DUMARÇAY Stéphane², GÉRARDIN Philippe²

¹UMR 1092 LERFOB INRA – Agroparistech (Nancy)

²EA 4370 LERMAB USC INRA – Université de Lorraine (Vandœuvre-lès-Nancy)

zineb.kebbi-benkeder@nancy.inra.fr

Introduction

Les nœuds constituent le principal défaut du matériau bois. Ils déprécient fortement la qualité du bois d'œuvre et sont aussi particulièrement indésirables dans les industries papetières. Cependant, il s'est avéré que les nœuds de certaines essences de bois d'industrie telles que le sapin ou l'épicéa contiennent des quantités importantes de substances extractibles ayant des propriétés intéressantes pour des utilisations dans le domaine de la santé ou de l'agro-alimentaire.

Une première étude de screening (Kebbi-Benkeder et al. 2014, Fig.1) a révélé la richesse des nœuds en extractibles de plusieurs essences forestières (sapin, épicéa, mélèze, Douglas, pin sylvestre, hêtre, chêne, robinier, merisier, frêne, charme, et aulne). Il s'agit maintenant de se focaliser sur une seule essence et d'étudier certains facteurs pouvant influencer cette richesse chimique.

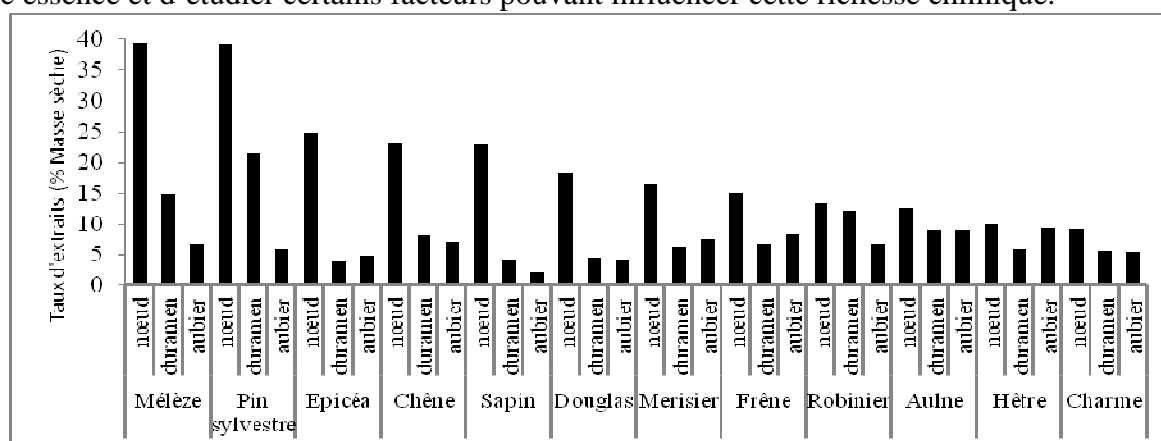


Fig 6 : Taux totaux d'extractibles dans les nœuds, duramen et aubier chez 12 essences forestières

Matériel et Méthodes

Quinze sapins ont été échantillonnés à Mont-Sainte-Marie, à 900m d'altitude, selon trois densités de peuplement différentes (Témoins, Moyenne et Forte) et selon trois statuts sociaux des arbres (dominé, co-dominant et dominant). Plusieurs verticilles par arbre ont été sciés à des hauteurs bien déterminées pour établir un profil intra-arbre des extractibles nodaux. Les nœuds vivants ont été séparés des nœuds morts pour pouvoir comparer leurs concentrations respectives en extractibles.

Les extractions ont été réalisées avec des soxhlets en utilisant deux solvants : l'hexane et l'acétone. L'identification et la quantification relative des différentes molécules présentes dans les mélanges extraits ont été réalisées à l'aide de chromatographie gazeuse (GC-MS).



Fig. 7 : Coupe longitudinale du verticille et observation du nœud

Résultats et Discussion

Les nœuds morts sont plus riches en extractibles que les nœuds vivants quel que soit la densité du peuplement et le statut de l'arbre. D'autre part, ce sont ces nœuds morts qui contiennent les quantités les plus importantes de résine (extraite à l'aide de l'hexane). Les nœuds les plus jeunes (prélevés en haut des arbres) sont ceux qui contiennent le moins d'extractibles. Il existe une forte variabilité intra arbre des concentrations nodales (le taux d'extraits varie entre 1.4% et 40% de la masse sèche de bois analysé). La densité du peuplement et le statut social ne semblent pas influencer significativement les extractibles nodaux des sapins. Toutefois, les concentrations les plus basses ont été relevées chez les sapins « Témoins ». (Fig. 3).

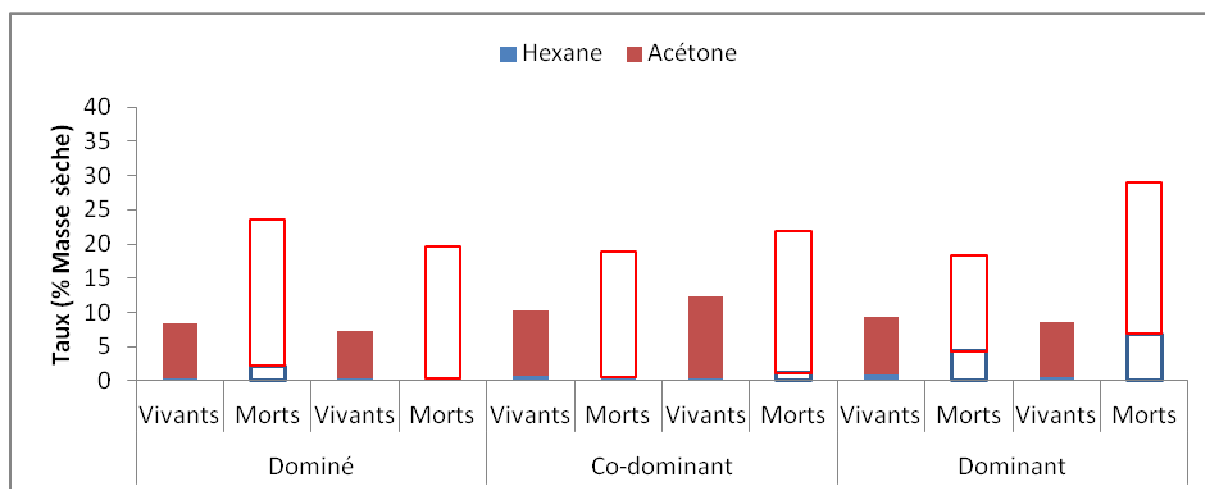


Fig. 8 : Taux totaux d'extractibles dans les nœuds des sapins échantillonnés dans la modalité « Témoin »

Les analyses chromatographiques ont révélé la présence de fortes quantités de lignanes dans les extraits acétoniques. Les principales molécules détectées sont le secoisolariciresinol, le hydroxymatairesinol, isolariciresinol, α -pinène, dehydrojuvabione, epimanool, etc.

Mots-clefs : Densité de peuplement, extractibles, lignanes, nœuds, statut social, profil intra-arbre.

C25

Measuring Larch adaptive potential to climatic changes using wood formation monitoring along an altitudinal gradient in the French Alps (Briançon)

SADERI Seyedehmasomeh¹, FOURNIER Meriem¹, RATHGEBER Cyrille¹

¹Laboratoire d'Etude des Ressources Forêts-Bois (LERFoB), INRA Nancy
ssaderi@nancy.inra.fr

Introduction

The mechanism of wood formation – intended as the division and differentiation of cells that will form a distinctive layer of wood – has been known for more than a century. Early studies have mainly focused on the description of the process of wood formation itself, then on the relationship between this process and the resulting anatomy of the wood, and finally have investigated how the process responded to the environment.

Material and Methods

The study site is located along an altitudinal gradient in the French Alps (Briançon) in north-east France. In the study site four elevation of 1350, 1700 & 2300 m a.s.l were selected and 15 trees from 200 trees in each level were selected for wood formation and dendrometer analyzing.

An automatic point dendrometer (APD) and also Manual Band Dendrometer (MBD) were installed at breast height in 15 trees in all levels.

Microcoring from 15 trees in each level has been done in the growth season of 2013 to monitor xylem and phloem formation at weekly time scale and at cellular level. Phenological observations also had been done each week from the trees. Tree ring density and genotype analysis also has been done for each level.

Research Questions

- 1) How xylem and phloem formation timings and rates change between trees of the same stands and between stands spread along an altitudinal gradient ?
- 2) How these changes are related to tree adaptation to their environment via genetic evolution and/or phenotypic plasticity ?
- 3) How trees will respond to forecasted climatic changes and how this will impact forest ecology, biogeochemical cycles and land use ?

C26

Comportement mécanique dynamique du bois vert en compression

PFEIFFER Renaud¹, LORONG Philippe², RANC Nicolas²,
COLLET Robert¹, DENAUD Louis-Etienne¹, COTTIN Fabrice¹

¹LaBoMaP, Arts et Métiers ParisTech Cluny

²PIMM, Arts et Métiers ParisTech Paris

renaud.pfeiffer@ensam.eu

Contexte

La simulation numérique de l'opération de fraisage des grumes par slabber doit permettre de prédire les dimensions des plaquettes produites. Pour prendre en compte les spécificités de la coupe du bois. La Méthode des Eléments Discrets (DEM) a été utilisée. Cette méthode, basée sur le principe fondamental de la dynamique, présente l'avantage de bien gérer les contacts 3D et les fissurations. Cependant celle-ci nécessite une étape de calibration. L'étape de calibration vise à déterminer un jeu de paramètres du modèle DEM qui permet de reproduire le comportement du matériau voulu sous un chargement mécanique simple.

Ici la principale difficulté réside dans le manque de bases de données et de modèles pour le comportement mécanique du bois vert à fort taux de déformation. La bibliographie montre deux types d'essais : les essais normalisés et les essais dynamiques.

Les essais normalisés [ASTM D143] sont réalisés avec des éprouvettes normalisées à faibles vitesses de déformation sur bois sec ou au point de saturation des fibres. De nombreuses bases de données rassemblent leurs résultats. Les essais d'impact [Adalian 02], plus rares sont souvent réalisés sur bois sec, quelques fois sur bois saturé. Cependant il n'existe pas de bases de données relatives à ces essais.

L'objectif est donc de réaliser des essais mécaniques sur bois vert permettant l'obtention d'abaques. Celles-ci étant nécessaires à la calibration du modèle DEM.

Matériel et méthode

Dans la coupe du bois vert, l'eau a une importance primordiale. Dans l'analyse des sollicitations mécaniques, les compressions transverses et parallèles au fil (Zones 1 et 3 de la figure 1) semblent les plus sensibles au taux d'humidité. Les vitesses de déformation étant très importantes en usinage, il est nécessaire d'utiliser des moyens expérimentaux représentatifs de ces conditions (Fig 2). De plus ces dispositifs doivent permettre l'obtention de graphiques contrainte-déformation pour être utilisables en tant qu'abaques. Ainsi notre choix s'est porté sur l'utilisation d'une machine de compression conventionnelle et d'un dispositif d'impact : les barres d'Hopkinson (SHPB) [Hopkinson 14].

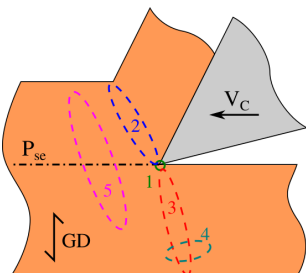


Fig. 1 : Zones de sollicitation mécanique lors de la coupe du bois (D'après [McKenzie 60])

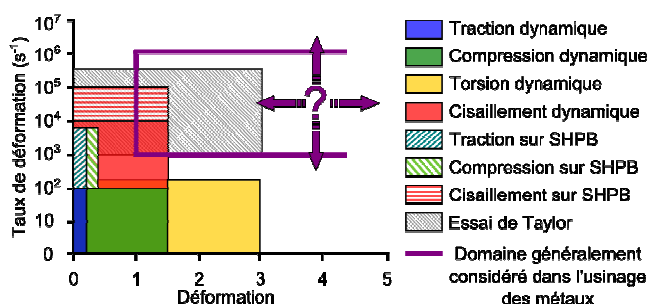


Fig. 2 : Plages de déformations et taux de déformation accessibles avec les essais de caractérisation courants (D'après [Courbon 11])

Les éprouvettes en bois vert de hêtre (épaisseur 10mm, diamètre 35,69 mm) sont dimensionnées pour être utilisées sur les barres d'Hopkinson en magnésium. Celles-ci sont conservées dans différents milieux (eau, réfrigérateur, air, congélateur) pour atteindre différents niveaux d'humidité. Les essais sont réalisés dans les directions radiales et longitudinales avec 30 répétitions par essais. Les taux de déformations obtenus s'échelonnent de 10^{-3} à 10 s^{-1} sur machine de compression hydraulique et de 300 à 1000 s^{-1} sur barres d'Hopkinson.

Premiers résultats et discussion

Les premiers résultats montrent une forte dépendance de la contrainte au taux d'humidité (Fig. 3) ainsi qu'au taux de déformation (Fig. 4) pour les deux directions. Plus le taux d'humidité est faible, plus le niveau de contraintes atteint est important. Aussi plus le taux de déformation est élevé, plus le niveau de contrainte est important.

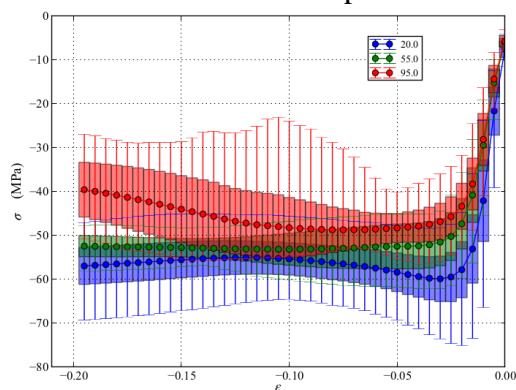


Fig. 3 : Graphique contrainte déformation en fonction du taux d'humidité H (%) dans la direction longitudinale (Hêtre, $\dot{\epsilon} = 10 \text{ s}^{-1}$)

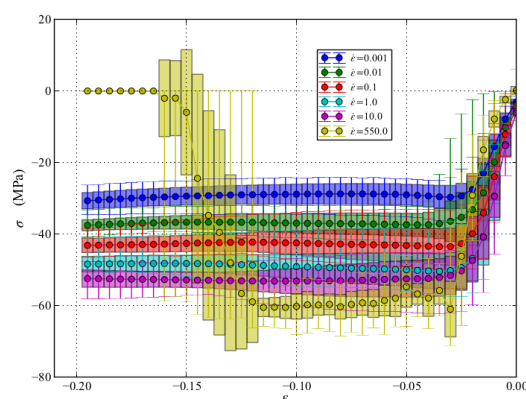


Fig. 4 : Graphique contrainte déformation en fonction du taux de déformation dans la direction longitudinale (Hêtre, $H = 55\%$)

L'analyse de la variance pour ces différents essais a montré la significativité à 5% de l'effet des taux d'humidité et de déformation ainsi que de l'interaction entre ces deux paramètres.

Conclusion et perspectives

Au vu des résultats obtenus, l'effet des taux de déformations et d'humidité sont prépondérants dans la réponse mécanique en compression du bois vert.

Il reste maintenant à mettre en forme ces données pour qu'elles soient exploitables par le plus grand nombre et à réaliser ces mêmes essais sur d'autres essences.

Références

- Adalian, C. et Morlier, P. "Wood model" for the dynamic behaviour of wood in multiaxial compression. *Holz als roh-und werkstoff*, 60(6): 433-439, 2002.
- ASTM. Standard test methods for small clear specimens of timber. 1994.
- Courbon, C. Vers une modélisation physique de la coupe des aciers spéciaux: intégration du comportement métallurgique et des phénomènes tribologiques et thermiques aux interfaces. Université de Lyon, 2011.
- Hopkinson, B. A Method of Measuring the Pressure Produced in the Detonation of High Explosives or by the Impact of Bullets. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A.* 213, 437-456, 1914.
- McKenzie, W.M. Fundamental analysis of the wood cutting process. University of Michigan, 1960.
- Mots-clefs :** Bois vert, compression, essai dynamique.

C27

Modélisation par éléments finis de l'influence des fissures de déroulage sur les propriétés mécaniques du laminated veneer lumber (LVL)

POT Guillaume¹, DENAUD Louis-Etienne¹, COLLET Robert¹,
BUTAUD Jean-Claude¹, KREBS Michaël¹

¹Arts et Metiers-ParisTech, LaBoMaP (EA 3633)
Rue Porte de Paris 71250 CLUNY-France tel: +33 (0)3 85 59 53 27
guillaume.pot@ensam.eu

Introduction

Le LVL (Laminated Veneer Lumber, Fig. 1) est un matériau composé de placages de bois déroulés de quelques millimètres d'épaisseur collés parallèlement entre eux pour former des éléments de structure (poutres, poteaux, planchers...). Ce procédé permet de répartir dans la structure les points faibles (nœuds, pente de fil ou fissures) de manière plus homogène que dans le bois massif, et ainsi d'obtenir un matériau avec une résistance à la rupture plus élevée et moins variable (Ebihara et al., 1982).

Du fait de la structure lamellée du LVL, la colle peut représenter une proportion non-négligeable du produit si le placage utilisé est de faible épaisseur. La quantité de colle peut être réduite en augmentant l'épaisseur des placages afin de diminuer le nombre de joints de colle. L'utilisation de placages épais permet donc de diminuer les coûts liés à la colle mais également au procédé industriel en diminuant les temps de déroulage et d'assemblage. Cependant, le déroulage en forte épaisseur s'accompagne de l'ouverture de fissures dans les placages (Leney, 1960 ; Thibaut, 1988 ; Fig. 2), dont on se propose d'étudier les conséquences sur les constantes mécaniques élastiques par modélisation numérique.



Fig. 1 : LVL de hêtre

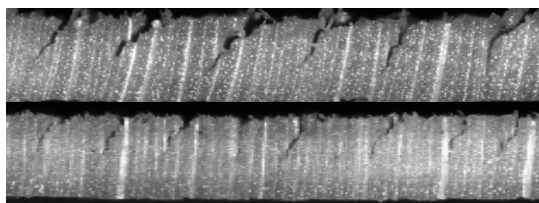


Fig. 2 : Placages de hêtre fissurés

Modélisation

La fissuration du placage dépend de nombreux paramètres liés au matériau, au couteau, aux conditions de coupe, etc. Pour cette étude, des mesures expérimentales ont été réalisées sur des placages de hêtre déroulés à la même épaisseur de 3 mm, avec l'emploi d'une barre de pression à l'avant du couteau à des taux de compression différents, afin de modifier l'ouverture des fissures. Les fissures ont été mesurées à l'aide du SMOF, moyen développé au LaBoMaP (Pałubicki et al., 2010 ; Dupleix et al., 2013), pour renseigner un modèle éléments finis sur la profondeur et la fréquence moyennes des fissures. Le modèle éléments finis des placages fissurés à des profondeurs et fréquences caractéristiques est présenté Fig.3. Ce modèle est simplifié, tant du point de vue de la géométrie et de la répartition des fissures que des propriétés du matériau qui est considéré homogène, élastique et orthotrope. Cette approche par la modélisation permet une meilleure compréhension de l'influence intrinsèque des fissures de déroulage sur les propriétés mécaniques du LVL (Pot et al., 2015).

Pour chaque fréquence de fissuration caractéristique (entre 200 et 450 fissures.m⁻¹, cf. Fig.3), un modèle de poutre LVL de section 20x20 mm et de longueur 320 mm a été testé numériquement en

flexion 4 points, en respectant la norme NF B51-016, et dans deux directions de sollicitation : à plat ou sur chant. A partir de cet essai de flexion numérique, le module global et le module local au sens de la norme EN 408, ainsi que le module de cisaillement, ont été comparés.

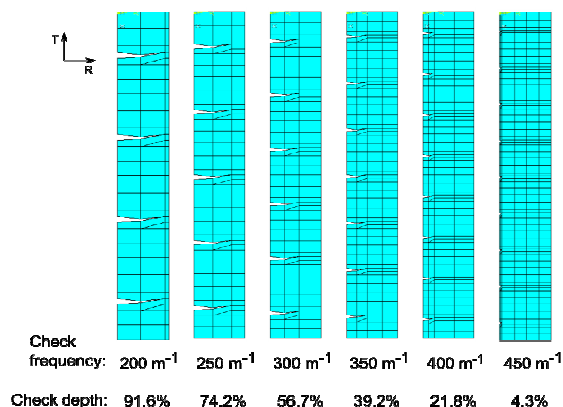


Fig. 3 : Modélisation éléments finis de placages fissurés avec des fréquences et profondeurs de fissuration différentes

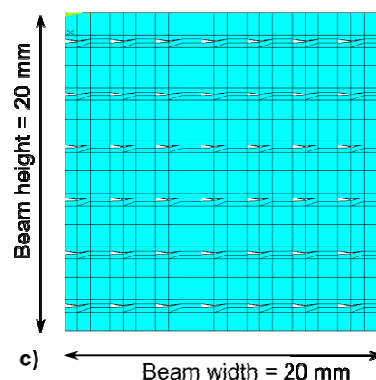


Fig. 4 : Section de la poutre de LVL modélisée avec les placages fissurés à une fréquence de 300m⁻¹

Résultats - Conclusion

Un modèle éléments finis de poutre de LVL fissurée permet de montrer que le module local, c'est à dire le module élastique longitudinal, n'est que très peu impacté par les fissures de déroulage, même les plus profondes (moins de 2,5% de variation relative entre les différentes configurations). Le module global au sens de la norme EN 408 est lui davantage influencé par les fissures de déroulage, notamment en flexion sur chant (variation relative de 5%). Ceci s'explique par la plus grande influence des fissures sur la déformation de cisaillement si elles sont orientées horizontalement dans l'essai de flexion. Le module de cisaillement est d'ailleurs le paramètre le plus influencé par les fissures de déroulage, avec une réduction pouvant atteindre 39% en flexion sur chant lorsque les fissures sont les plus profondes. D'autres simulations numériques sont envisagées pour étudier l'influence de l'orientation des fissures, de leur forme et de leur distribution sur les propriétés élastiques. Une validation expérimentale de ces résultats est également en cours avant d'aborder les phénomènes liés à la rupture.

Références

- Dupleix A., Denaud L.E., Bleron L., Marchal R., Hughes M. (2013) The effect of log heating temperature on the peeling process and veneer quality: beech, birch, douglas-fir and spruce case studies. *Eur. J. Wood Prod.* 71:163–171.
- Ebihara T. (1982) The performance of composite beams with laminated-veneer lumber (LVL) flanges. *J. Jpn Wood Res. Soc.* 28:216-224.
- Leney L. (1960) A photographic study of veneer formation. *For. Prod. J.* 10:133-139.
- Pałubicki B., Marchal R., Butaud J.C., Denaud L.E., Bléron L., Collet R., Kowaluk G. (2010) A Method of Lathe Checks Measurement: SMOF device and its software. *Eur. J. Wood. Prod.* 68:151-159.
- Pot G, Denaud LE, Collet R (2015) Numerical study of the influence of veneer lathe checks on the elastic mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) made of beech. *Holzforschung*.
- Thibaut B. (1988) Le processus de coupe du bois par déroulage, Thèse de doctorat d'Etat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc.

Liste des participants

Nom, Prénom	Adresse électroniques	Laboratoire, Ville, Pays
AKPENE Afiwa	asophy09@yahoo.fr	CIRAD UR BioWooEB, Montpellier, France
ALMEIDA PERRÉ Giana	giana.almeida@agroparistech.fr	AgroParisTech UMR Génial, Palaiseau, France
ALMÉRAS Tancrede	tancrede.almeras@univ-montp2.fr	Université de Montpellier, Montpellier, France
AMEGLIO Thierry	thierry.ameglio@clermont.inra.fr	INRA, Clermont-Ferrand, France
AMUSANT Nadine	nadine.amusant@cirad.fr	CIRAD, Rémire-Montjoly, Guyane Française
ANDRIANANTENAINA Anjy N.	anjynandrianina@gmail.com	ESSA Forêt, Laxou, France
ANGELLIER Nicolas	nicolas.angellier@unilim.fr	Université de Limoges, Egletons, France
ARCINIEGAS André	afarciniegas@unal.edu.co	CIRAD, Montpellier, France
ARVANITAKIS Laurence	laurence.arvanitakis@cirad.fr	CIRAD, Montpellier, France
AUCHET Sébastien	sebastien.auchet@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine - ENSTIB, Épinal, France
AYOUZ Medhi	medhi.ayouz@ecp.fr	École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, France
BARDET Sandrine	sandrine.bardet@um2.fr	UM2 - LMGC, Montpellier, France
BELLONCLE Christophe	christophe.belloncle@ecoledubois.fr	ESB, Nantes, France
BENKEDER Zineb	zineb.kebbi_benkeder@yahoo.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
BESSERER Arnaud	arnaud.besserer@univ-lorraine.fr	LERMaB, Épinal, France
BLERON Laurent	laurent.bleron@univ-lorraine.fr	LERMaB, Épinal, France
BLON David	david.blon@cribois.net	CRITT BOIS, Épinal, France
BOMBARDIER Vincent	vincent.bombardier@univ-lorraine.fr	CRAN - UMR CNRS 7039, Vandoeuvre, France
BONNET Marie	marie.bonnet@enpc.fr	Navier/IFSTTAR, Marne- la- Vallée cedex 2, France
BOUALI Anis	anis.bouali@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine - ENSTIB, Épinal, France
BRANCHERIAU Loïc	loic.brancheriau@cirad.fr	CIRAD, Montpellier, France
BRANDELET Benoit	benoit.brandelet@univ-lorraine.fr	LERMaB, Épinal, France
BRÉMAUD Iris	iris.bremaud@univ-montp2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France
BROSSE Nicolas	nicolas.brosse@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
BURGERS Agnès	agnes.burgers@um2.fr	UM2 - LMGC, Montpellier, France
CABANÉ Mireille	mireille.cabane@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, UMR1137 EEF, Vandoeuvre, France
CABROLIER Pierre	pierre.cabrolier@um2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France
CAILLY Priscilla	priscilla.cailly@fcba.fr	Intitut technologique FCBA, Cestas, France
CANDELIER Kévin	kevin.candelier@cirad.fr	CIRAD UR BioWooEB, Montpellier, France
CAPRON Marie	marie.capron@um2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France

CARÉ Sabine	sabine.care@ifsttar.fr	Navier/IFSTTAR, Marne- La- Vallée, France
CARLIER Capucine	capucine.carlier@um2.fr	LMGC, Montpellier, France
CHAPLAIN Myriam	myriam.chaplain@u-bordeaux.fr	Université de Bordeaux - I2M, Talence, France
CHAPUIS Hubert	hubert.chapuis@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
CHARPENTIER Patrick	patrick.charpentier@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
CHARRIER Bertrand	bertrand.charrier@univ-pau.fr	IUT Pays de l'Adour, Mont de Marsan, France
CLAIR Bruno	bruno.clair@cnrs.fr	CNRS, EcoFoG, Kourou, France
COLIN Francis	colin@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
COLIN Julien	julien.colin@ecp.fr	École Centrale Paris, Châtenay-Malabry, France
COLLET Robert	robert.collet@ensam.eu	ENSAM, Cluny, France
CONSTANT Thiéry	constant@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
COURBALAY Matthieu	courbalay.matthieu@laposte.net	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
COUREAU Jean-Luc	jean-luc.coureau@u-bordeaux.fr	I2M GCE, Talence, France
COURET Laetitia	laetitia.couret@ecoledubois.fr	École Supérieure du Bois, Nantes, France
DAMAY Jérémie	jeremie.damay@gmail.com	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
DANG Djily	djily.dang@etudiant.univ-bpclermont.fr	Institut Pascal -Université Blaise Pascal, Aubière, France
DÉFOSSEZ Pauline	pauline.defossez@bordeaux.inra.fr	INRA UMR ISPA, Villenave d'Ornon, France
DEMATTE M.Luisa	marialuisa.dematte@unipd.it	Università di Padova, Legnaro (PD), Italie
DENAUD Louis	louis.denaud@ensam.eu	Arts et Métiers ParisTech, Cluny, France
DERBAL Wassila	isabelle.chalon@cirad.fr	CIRAD UR BioWooEB, Montpellier, France
DESTREBECQ Jean-François	j-francois.destrebecq@univ-bpclermont.fr	Institut Pascal, Aubière, France
DLOUHA Jana	jana.dlouha@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
DOUMALIN Pascal	pascal.doumalin@univ-poitiers.fr	Institut P', Futuroscope Chasseneuil, France
DUBOIS Frédéric	frederic.dubois@unilim.fr	Université de Limoges, Egletons, France
DUMARÇAY Stéphane	stephane.dumarcay@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
DUPRE Jean-Christophe	jean.christophe.dupre@univ-poitiers.fr	Institut P', Futuroscope Chasseneuil, France
DUSSOL Lydie	lydie.dussol@mae.u-paris10.fr	UMR 8096 ArchAm, Paris, France
EFHAMISISI Davood	davod.efhami@gmail.com	CIRAD, Montpellier, France
EKOMY ANGO Serge	ekomyango@yahoo.fr	Institut de Recherches Technologiques (IRT), Libreville, Gabon
EYMA Florent	florent.eyma@iut-tarbes.fr	IUT de Tarbes - ICA, Tarbes, France
FAUGERON Céline	c.faugeron@free.fr	Université de Limoges - LCSN, Limoges cedex, France
FOURNIER Meriem	meriem.fournier@agroparistech.fr	LERFoB AgroParisTech, Nancy, France
FRANZONI Lorenzo	lorenzo.franzoni@enpc.fr	Laboratoire Navier - École des Ponts, Champs-sur-Marne, France

FREDON Emmanuel	emmanuel.fredon@univ-lorraine.fr	ENSTIB, Épinal, France
FREYBURGER Charline	freyburg@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
FRILEY Virginie	friley@agroparistech.fr	LERFoB AgroParisTech, Nancy, France
GAMBIER François	francois.gambier@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, Cedex
GAUVIN Cécilia	cecilia.gauvin@um2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France
GEORGE Béatrice	beatrice.george@univ-lorraine.fr	FST, Vandoeuvre, FRANCE
GÉRARDIN Christine	christine.gérardin@lermab.uhp-nancy.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
GÉRARDIN Philippe	philippe.gerardin@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
GIRARDON Stéphane	stephane.Girardon@ensam.eu	ENSAM, Cluny, France
GRAZIDE Cécile	cecile.grazide@u-bordeaux.fr	Université de Bordeaux, labo I2M dpt GCE, Talence, France
GRIL Joseph	joseph.gril@univ-montp2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France
GROLLEAU Vincent	vincent.grolleau@univ-ubs.fr	Université de Bretagne Sud, Lorient, France
GUYOT Alban	alban.guyot@cirad.fr	CIRAD, Montpellier, France
HAMADA Joel	johamfr@yahoo.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
HAMDI Seif Eddine	seif3eddine@yahoo.com	Polytech Clermont-Ferrand, Aubière, France
HARROUE Maryline	mharroue@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
HENIN Jean-Marc	jeanmarc.henin@gmail.com	Service public de Wallonie, Gembloux, Belgique
HOUSSAY Anne	ahoussay@cite-musique.fr	Cité de la Musique, Paris, France
HOUSSEMENT Nicolas	nicolas.houssement@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
HU Jinbo	jinbo.hu@cirad.fr	CIRAD, Montpellier, France
IKOGOU Samuel	ikogousamuel@yahoo.fr	ENEF Gabon, Libreville, Gabon
IMBERT Aurélia	aureliaimbert@gmail.com	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
ISMAIL Rached	rached.ismail@oniris-nantes.fr	ONIRIS (site Chantrerie), Nantes, France
JACQUIN Philippe	phjacquin@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
JANIN Gérard	gejanin@free.fr	Retraité, France
JEANNIN Aurélie	aurelie.jeannin@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
JULIEN Jean-Louis	jean-louis.julien@univ-bpclermont.fr	Université Blaise Pascal, Aubière, France
JULLIEN Delphine	delphine.jullien-pierre@univ-montp2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France
KARAMI Elham	em_karami@yahoo.com	LMGC CNRS, Montpellier, France
KIPROP Ambrose	ambkiprop@gmail.com	LERMaB, Nancy, France
KLEINDIENST Quentin	quentin.kleindienst@univ-lorraine.fr	LERMaB, Épinal, France
LABBE Stéphane	s.labbe@actibac.fr	Université de Lorraine, Épinal, France
LABORIE Marie-Pierre	marie-pierre.laborie@fobawi.uni-freibourg.de	Université de Freiburg, Freiburg, Allemagne
LACOSTE Clément	clementlacoste@live.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Épinal, France
LAGEL Marie-Christine	marie-christine.lagel@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Épinal, France
LARRICQ Pierre	pierre.larricq@iut-tarbes.fr	IUT de Tarbes, Tarbes, France
LATHUILLIERE Damien	damien.lathuilliere@uni-lorraine.fr	LERMaB, Épinal, France

LAURANS Françoise	francoise.laurans@orleans.inra.fr	INRA, Orléans, France
LAVALETTE Anne	anne.lavalette@live.fr	Cité de la Musique, Paris, France
LAVIER Catherine	catherine.lavier@upmc.fr	Lams-Umr8220-Upmc-Cnrs, Paris, France
LE ROY Robert	robert.leroy@enpc.fr	ENPC, Champs-sur-Marne, France
LEPETIT Amaury	amaury.lepetit@etu.unilim.fr	Université de Limoges, Limoges, France
LI Hang	hang.li@iut-tarbes.fr	IUT de Tarbes - ICA, Tarbes, France
LIMAM Amel	limammaha@yahoo.fr	URMPE, FSI UMBB, Algérie
LUDOSKY Daliena	daliena.ludosky@univ-reims.fr	Grespi/Siel/ESB, Reims, France
MAKHLOUF Heba	heba.makhlouf@univ-mlv.fr	UPEM FCBA, Champs-sur-Marne, France
MALASSENET Lise	lise.malassenet@fcba.fr	FCBA/LERMaB, Bordeaux, France
MARCHAL Rémy	remy.marchal@cirad.fr	CIRAD, Montpellier, France
MARCON Bertrand	bertrandmarcon@hotmail.com	Université de Florence, Florence, Italie
MARTIN Corinne	corinne.martin@agroparistech.fr	LERFoB AgroParisTech, Nancy, France
MAURIN Emmanuel	emmanuel.maurin@culture.gouv.fr	Laboratoire de recherche, Champs-sur-Marne, France
MEAUSSONE Pierre-Jean	pierre-jean.meaussone@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Épinal, France
MEREUZE Rémi	remi.mereuze@gmail.com	UMR 8096, ArchAm, Paris, France
MERLIN André	andre.merlin@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
MONTERO Cédric	cedric.montero@um2.fr	LMGC CNRS, Montpellier, France
MORAUX Thomas	thomas.morau@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
MOREL Hélène	helene.morel@ecofog.gf	CIRAD, Kourou, France
MOREL Nathalie	nmorel@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
MORIN-RIVAT Julie	jmorin@doct.ulg.ac.be	ULg - Gembloux Agro - Bio Tech, Gembloux, Belgique
MOTHE Frédéric	mothe@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
MOUGEL Eric	eric.mougel@univ-lorraine.fr	ENSTIB, Épinal, France
MOURITANY NANTZ Laetitia	laetitia.mouritany@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
MOUSSAVI Esmail	seyed-esmaeil.moussavi@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Épinal, France
MOUTOU PITTI Rostand	rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr	Université Blaise Pascal, Aubière, France
NEPVEU Gérard	nepveu@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
NGUYEN Sung Lam	sung-lam.nguyen@ifma.fr	Université Blaise Pascal - Inst. Pascal, Clermont-Ferrand, France
NOYER Estelle	enoyer@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
NZAMBE TA KEKI Jean-Kérin	jean-kerim.nzambe@etu.unilim.fr	Université de Limoges, Limoges, France
PERRE Patrick	patrick.perre@ecp.fr	ECP, Chatenay Malabry, France
PERRET Olivier	olivier.perret@enpc.fr	Laboratoire Navier, Paris, France
PERRIN Marianne	marianne.perrin@iut-tarbes.fr	IUT Tarbes - Dpt GMP, Tarbes, France
PERRIN Dominique	dominique.perrin@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
PÉTRIASSANS Mathieu	mathieu.petrissans@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Épinal, France
PEYRON Jean-Luc	jean-luc.peyron@gip-ecofor.org	GIP Ecofor, Paris, France

PFEIFFER Renaud	renaud.pfeiffer@ensam.eu	Arts et Metiers ParisTech, Cluny, France
PHAN Ngoc Anh	na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr	Université de Bordeaux- I2M/GCE, Talence, France
PIERRE Floran	floran.pierre@ecp.fr	École Centrale Paris, Chatenay Malabry, France
PIGNOLET Luc	pignolet@cirad.fr	CIRAD, Montpellier, France
PINTA Elie	elie.pinta@club-internet.fr	Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, France
PLAZANET Idelette	idelette.plazanet@etu.unilim.fr	Université de Limoges, Limoges, France
POLLET Caroline	eniloracpollet@hotmail.com	Université de Liège, Gembloux, Belgique
POMMIER Régis	regis.pommier@u-bordeaux.fr	I2M GCE, Talence, France
PONOMARENKO Alexandre	alexpono@gmail.com	INRA, Clermont-Ferrand, France
POP Octavian	ion-octavian.pop@unilim.fr	Université de Limoges, Egletons, France
POT Guillaume	guillaume.pot@ensam.eu	ENSAM, Cluny, France
RAMANAKOTO Miora	miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr	IUT Tarbes - Dpt GMP, Tarbes, France
RAMANANANTOANDRO Tahiana	ramananantoandro@gmail.com	ESSA, Dpt des Eaux et Forêts, Antananarivo, Madagascar
RATHGEBER Cyrille	cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
REIS DE ASSIS Maira	maira1403@yahoo.com.br	CIRAD, Montpellier, France
REMOND Romain	romain.remond@univ-lorraine.fr	ENSTIB-UL, Épinal, France
RIVIERE Gaëtan	gaetan.riviere@univ-lorraine.fr	LERMaB, Épinal, France
ROCHE Stéphane	stephane.roche@epfl.ch	EPFL ENAC IIC IBOIS, Lausanne, Suisse
RODRIGUES Patrick	patrick.rodrigues@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
ROUGER Frédéric	frederic.rouger@fcba.fr	FCBA, Paris, France
RUELLE Julien	julien.ruelle@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
SADERI Seyedehmasoumeh	ssaderi@nancy.inra.fr	LERFoB INRA, Champenoux, France
SAHMIM Wissem	wissemah@hotmail.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
SALEM Thouraya	thouraya.salem@yahoo.fr	ENSTIB, Épinal, France
SALMAN Solafa	solafays@yahoo.com	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
SAUVAGEON Thibaud	thibaud.sauvageon@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Vandoeuvre, France
SAUVAT Nicolas	nicolas.sauvat@unilim.fr	Université de Limoges, Egletons, France
SEGLA Kossi	kosisegla@gmail.com	CIRAD UR BioWooEB, Montpellier, France
SESBOU Abdessadek	asesbou@yahoo.fr	ENFI, Sale, Maroc
SIOLEK Maria	maria.siolek@wp.pl	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
TAPIN Benoit	benoit_tapin@hotmail.fr	Université de Lorraine - LERMaB, Vandoeuvre, France
THERY-PARISOT Isabelle	isabelle.thery@cepam.cnrs.fr	CNRS, Nice, France
THIBAUT Bernard	thibaut.bernard0158@orange.fr	CNRS, Montpellier, France
TOUSSAINT Evelyne	evelyne.toussaint@univ-bpclermont.fr	Université Blaise Pascal - Institut Pascal, Aubière, France

TRAN Van Dang	van-dang.tran@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine, Épinal, France
TRAORE Yasmina	yastryb@gmail.com	CIRAD UR BioWooEB, Montpellier, France
TROUY Marie-Christine	marie-christine.trouy@univ-lorraine.fr	ENSTIB, Épinal, France
VAIEDELICH Stéphane	svaiedelich@cite-musique.fr	Cité de la Musique, Paris, France
VANLANDEGHEM Marine	marine.vanlandeghem@gmail.com	Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Paris, France
VERNAY Antoine	ant.vernay@hotmail.fr	INRA, Clermont-Ferrand, France
VIDAL Marcia	marcia.vidal@ecam.fr	ECAM, Lyon, France
VIGNON Pierre	pierre.vignon@gmail.com	FINSA / I2M, Morcenx, France
VIGUIER Joffrey	joffrey.viguiere@univ-lorraine.fr	LERMAB, Épinal, France
WIACEK Malgorzata	malgorzata.wiacek1986@gmail.com	Université de Lorraine - LERMAB, Vandoeuvre, France
ZANETTI Michela	michela.zanetti@unipd.it	Università di Padova - Legnaro (PD), Italie
ZUCCO Gesualdo	zucco@unipd.it	Università di Padova, Padova, Italie